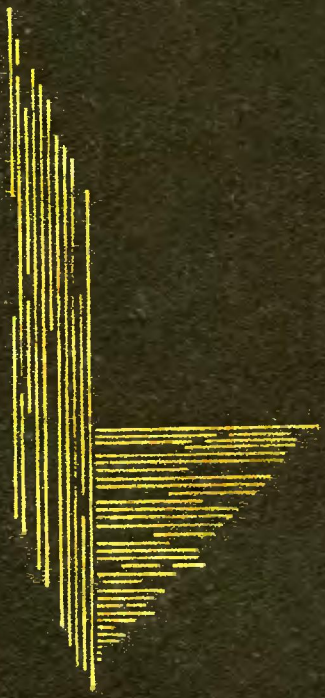
ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ СССР

4



МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГРУНТОВЕДЕНИЮ
ОТДЕЛЕНИЯ ГЕОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ И ГЕОХИМИИ АКАДЕМИИ НАУК СССР

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М. В. ЛОМОНОСОВА

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ СССР

В ВОСЬМИ ТОМАХ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ
ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР Е. М. СЕРГЕЕВ. ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: Г. А. ГОЛОДКОВСКАЯ, И. В. ПОПОВ, Е. Г. ЧАПОВСКИЙ, М. В. ЧУРИНОВ. ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ: К. И. АНТОНЕНКО, А. Е. БАБИНЕЦ, Г. К. БОНДАРИК, И. М. БУАЧИДЗЕ, И. В. ГАРМОНОВ, С. А. ГУРЬЕВ, С. Л. ДИКОВСКАЯ, В. И. ДМИТРОВСКИЙ, С. В. ДРОЗДОВ, Д. Г. ЗИЛИНГ, Г. С. ЗОЛОТАРЕВ, Н. В. КОЛОМЕНСКИЙ, И. С. КОМАРОВ, В. А. КУДРЯВЦЕВ, Б. Д. ЛОМТАДЗЕ, Р. П. ТЕУШ, Х. Т. ТУЛЯГАНОВ, Н. Н. ХОДЖИБАЕВ

Издательство Московского университета
1977

ВТОРОЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ МИНИСТЕРСТВА ГЕОЛОГИИ СССР

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ СССР

ТОМ ЧЕТВЕРТЫЙ

ДАЛЬНИЙ ВОСТОК

ПОД РЕДАКЦИЕЙ Е. Г. ЧАПОВСКОГО

Издательство Московского университета
1977

УДК 624

Инженерная геология СССР. В 8-ми томах. Т. 4. **Дальний Восток.** Под ред. Е. Г. Чаповского. М., Изд-во Моск. ун-та, 1977.
502 с., 58 ил. Библиогр. 221 назв., 87 табл.

В четвертом томе монографии «Инженерная геология СССР» обобщены основные материалы по инженерной геологии Дальнего Востока. В разделе I рассмотрены региональные закономерности формирования инженерно-геологических условий по наиболее крупным этапам геологической истории нескольких разнородных и разновозрастных тектонических структур. Комплексная оценка в пределах этих структур формационных, геолого-структурных, мерзлотно-гидрогеологических, геоморфологических и ландшафтных факторов, определяющие современные инженерно-геологические условия, позволила провести районирование с выделением инженерно-геологических регионов второго порядка.

Раздел II посвящен инженерно-геологическому описанию этих регионов. Приведены природно-климатические особенности, геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород, мерзлотно-гидрогеологические условия, современные геологические процессы и др. Дана оценка возможности инженерно-геологического освоения региона. В разделе III проанализирован опыт строительства и изменения инженерно-геологических условий под влиянием деятельности человека.

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Московского университета

20806—176
И 077(02)—77 подписное

© Издательство Московского университета, 1977 г.

ВВЕДЕНИЕ

Дальний Восток охватывает около одной пятой территории Советского Союза, к востоку от рек Лены, Алдана и Зеи. С севера и востока его омывают: море Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское, Берингово, Охотское и Японское моря. Южная граница региона совпадает с государственной границей между СССР и Китайской Народной Республикой.

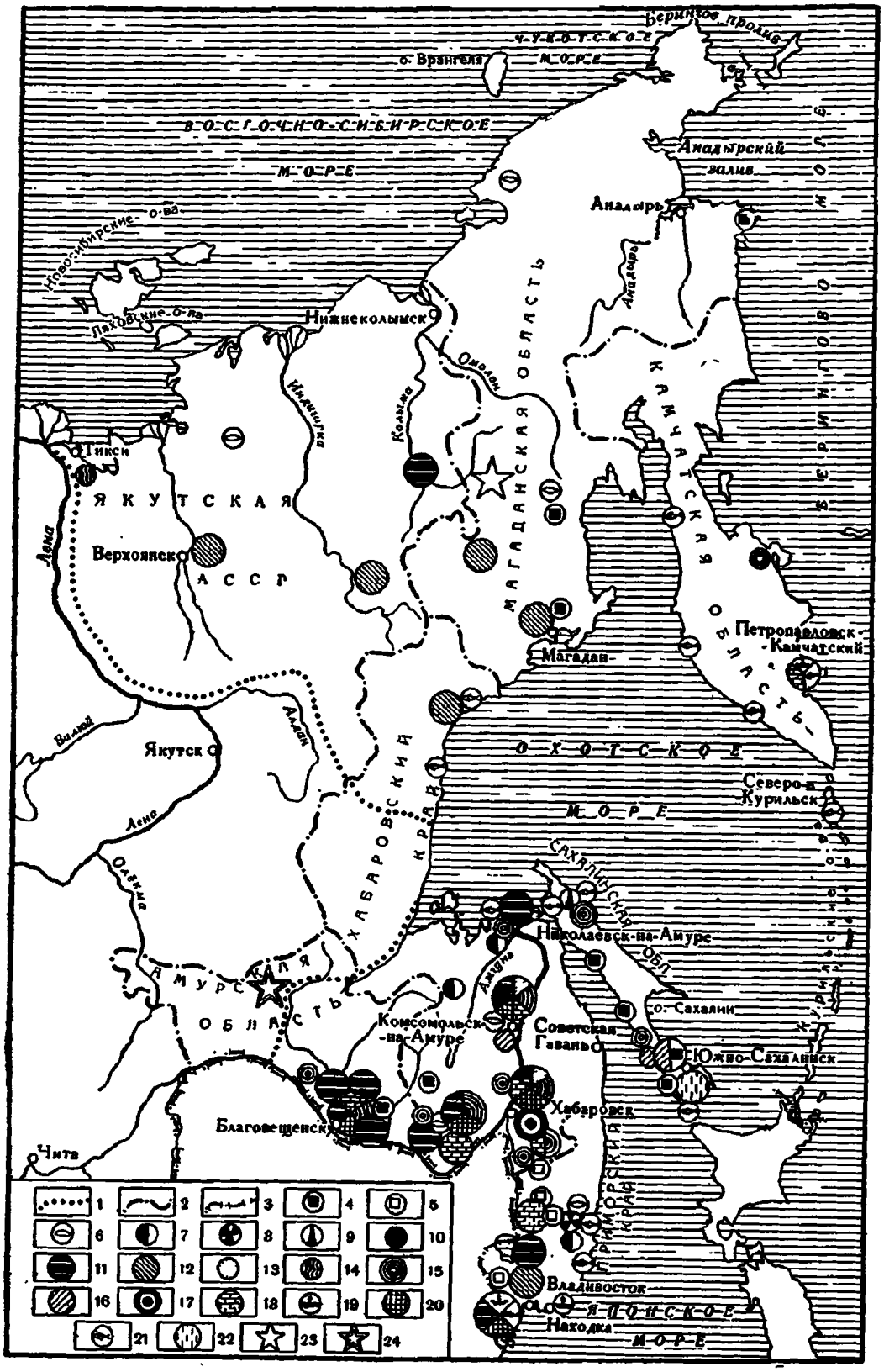
Дальний Восток входит в состав РСФСР и включает восточную часть Якутской АССР, Магаданскую область с Чукотским национальным округом, Камчатскую область с Корякским национальным округом, юго-восточную часть Амурской области, Сахалинскую область, южную часть Хабаровского края и Приморский край, в экономическом отношении образующие Дальневосточный экономический район.

Природные условия Дальнего Востока характеризуются исключительной контрастностью и неоднородностью, обусловленной его положением на окраине Азиатского материка, большой протяженностью с юга на север (от 42 до 70° с. ш.), сочетанием преимущественно горного рельефа с редкими разобщенными, но достаточно обширными равнинами.

Суровый своеобразный климат, широкое развитие многолетнемерзлых пород и связанных с ними современных геологических процессов и явлений наряду со значительной удаленностью от основных экономически развитых районов страны осложняют и тормозят освоение территории.

Наиболее освоена южная часть Дальнего Востока — бассейн Амура и морское побережье (рис. 1). Здесь расположены основные промышленные центры, связанные сетью дорог, и сельскохозяйственные районы.

Основное значение в экономике Дальнего Востока имеют горнодобывающая и рыбная промышленность. Развиваются лесная промышленность, машиностроение и металлообработка, черная металлургия, промышленность строительных материалов, сельское хозяйство. Большое экономическое значение имеет морской транспорт. На базе добычи угля и газа в годы последних пятилеток создается топливно-энергетическая промышленность, недостаточное развитие которой являлось


Берингов пролив
Ч-У-К-О-Т-С-К-О-Е
М-О-Р-Е
о. Врангеля
В-О-С-Т-О-Ч-Н-О-С-И-Б-И-Р-С-К-О-Е
М-О-Р-Е
Анадырский залив
Анадырь
Новосибирские о-ва
Ляховские о-ва
Нижнеколымск
Индигирка
Колыма
Омолон
Анадырь
МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ
КАМЧАТСКАЯ ОБЛАСТЬ
Тикси
Я К У Т С К А Я
А С С Р
Верхоянск
Лена
Магадан
Петропавловск-Камчатский
Вилюй
Алдан
Якутск
Лена
О-Х-О-Т-С-К-О-Е
М-О-Р-Е
Северо-Курильск
ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ
Олекма
САХАЛИНСКАЯ ОБЛ.
Николаевск-на-Амуре
Амур
АМУРСКАЯ ОБЛАСТЬ
Комсомольск-на-Амуре
Советская Гавань
о. Сахалин
Южно-Сахалинск
Благовещенск
Хабаровск
Чита
ПРИМОРСКИЙ КРАЙ
Владивосток
Находка
Я-П-О-Н-С-К-О-Е
М-О-Р-Е
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24

серьезным тормозом в развитии экономики Дальнего Востока. Построены тепловые и гидротермальные электростанции (Анадырская, Магаданская, Хабаровская, Приморская и др.), строятся Билибинская атомная электростанция и Зейская гидроэлектростанция. Начали развиваться новые для Дальнего Востока отрасли промышленности: химическая, лесохимическая, нефтеперерабатывающая и др. Создана мощная строительная индустрия с высокомеханизированными комбинатами и заводами железобетонных конструкций в Хабаровском и Приморском краях, в Амурской и Сахалинской областях и в Магадане. Растут новые города и поселки, реконструируются старые. Быстрыми темпами ведется строительство дорог, мостов, причалов и портов. Начато строительство Байкало-Амурской магистрали (БАМ).

В десятой пятилетке на Дальнем Востоке намечено дальнейшее комплексное развитие хозяйства, увеличение добычи цветных, редких и драгоценных металлов, производства продукции лесной, целлюлозно-бумажной, рыбной и мебельной промышленности. Предстоит завершить сооружение Зейской ГЭС, развернуть строительство Бурейской ГЭС, ввести в действие первые агрегаты на Колымской ГЭС, продолжить развитие и реконструкцию существующих портов, строительство глубоководного порта Восточный, выполнить значительный объем по орошению и осушению земель. Намечено значительное усиление геологоразведочных и научно-исследовательских работ по комплексному развитию производительных сил в зоне, тяготеющей к Байкало-Амурской магистрали. Предусмотрено освоение природных ресурсов в этой зоне по мере завершения строительства отдельных участков магистрали.

Осуществление планов дальнейшего хозяйственного развития Дальнего Востока требует усиления работ по изучению инженерно-геологических условий края, и в первую очередь в области региональной инженерной геологии, в задачу которой входит типизация инженерно-геологических условий местности на основе синтеза всех знаний о природной обстановке. «Этот синтез должен предусматривать количественную оценку роли того или иного фактора при различных видах строительства. Инженерно-геологическая типизация местности даст возможность разработать региональные нормы и технические условия, строительные нормы и правила и типовое проектирование сооружений применительно к разного рода природным условиям. Это в свою очередь будет способствовать сокращению объема и сроков изыскательских работ, проектирования и строительства, т. е. их ускорению и удешевлению» (Сергеев, 1968).

В настоящее время в инженерно-геологическом отношении территория Дальнего Востока в целом охарактеризована лишь на сводной мелкомасштабной инженерно-геологической карте СССР. Обзорные описания инженерно-геологических условий по отдельным территориям

Рис. 1. Обзорная схема Дальнего Востока:
1 — западная граница региона; 2 — границы основных административных единиц; 3 — государственная граница СССР; промышленная добыча полезных ископаемых: 4 — каменного угля, 5 — бурого угля, 6 — оловянной руды, 7 — золота, 8 — полиметаллических руд, 9 — нефти и газа; промышленность: 10 — черная металлургия; 11 — машиностроение, металлообработка и металлоремонт; 12 — цветная металлургия; 13 — нефтеперерабатывающая; 14 — топливно-энергетическая; 15 — деревообрабатывающая и лесопильная; 16 — целлюлозно-бумажная; 17 — гидролизная; 18 — строительных материалов; 19 — судоремонтная; 20 — пищевая и легкая; 21 — рыбная; 22 — и другие; 23—24 — строящиеся соответственно: атомная электростанция и гидроэлектростанция

(краям, областям) Дальнего Востока, составленные на основе анализа в региональном плане имеющегося материала с привлечением данных по геологии, гидрогеологии и географии, содержатся в монографии «Гидрогеология СССР».

Инженерно-геологические исследования среднего масштаба проведены лишь на отдельных участках в бассейне Верхнего Амура, на юге Приморского края, в районах крупных городов (Магадана, Хабаровска, Владивостока, Комсомольска-на-Амуре) и пос. Депутатского Якутской АССР. По участкам промышленно-гражданского, линейного, гидротехнического и горнодобывающего строительства проведены инженерно-геологические изыскания различными проектно-изыскательскими организациями. В связи с расширением строительных работ на Дальнем Востоке в последнем десятилетии объем этих материалов значительно вырос и требует скорейшего анализа и обобщения.

При составлении данной монографии «Инженерная геология СССР» использованы вышеуказанные материалы инженерно-геологических съемок, изысканий и сводных описаний, а также имеющиеся материалы по геологии, гидрогеологии, геокриологии, геоморфологии и современным геологическим процессам по состоянию изученности на 1/I 1973 г. Основными из числа использованных являются сводные работы, в которых обобщены результаты мелкомасштабных, средиемасштабных и крупномасштабных кондиционных геологических и гидрогеологических съемок, проведенных на территории региона в период 1948—1967 гг., и литературные материалы.

Для составления раздела «Опыт строительства и изменение природных условий под влиянием деятельности человека» использованы и обобщены многочисленные статьи и доклады, опубликованные в печати, изданные труды научно-исследовательских институтов, совещаний и семинаров по данной теме, широко использованы материалы изыскательских и проектных организаций, работающих на территории Дальнего Востока. Использованы также устные сообщения ведущих специалистов вышеуказанных организаций, работающих на территории Приморского края.

Обобщение материалов и составление данного тома монографии проведены в течение 1970—1973 гг. сотрудниками Второго гидрогеологического управления при участии в составлении отдельных глав сотрудников ВСЕГИНГЕО, ВСЕГЕИ, ПНИИИС, МГРИ, Северо-Восточного территориального геологического управления, Дальстройпроекта, НИИМСа и Приморского территориального геологического управления.

РАЗДЕЛ I

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

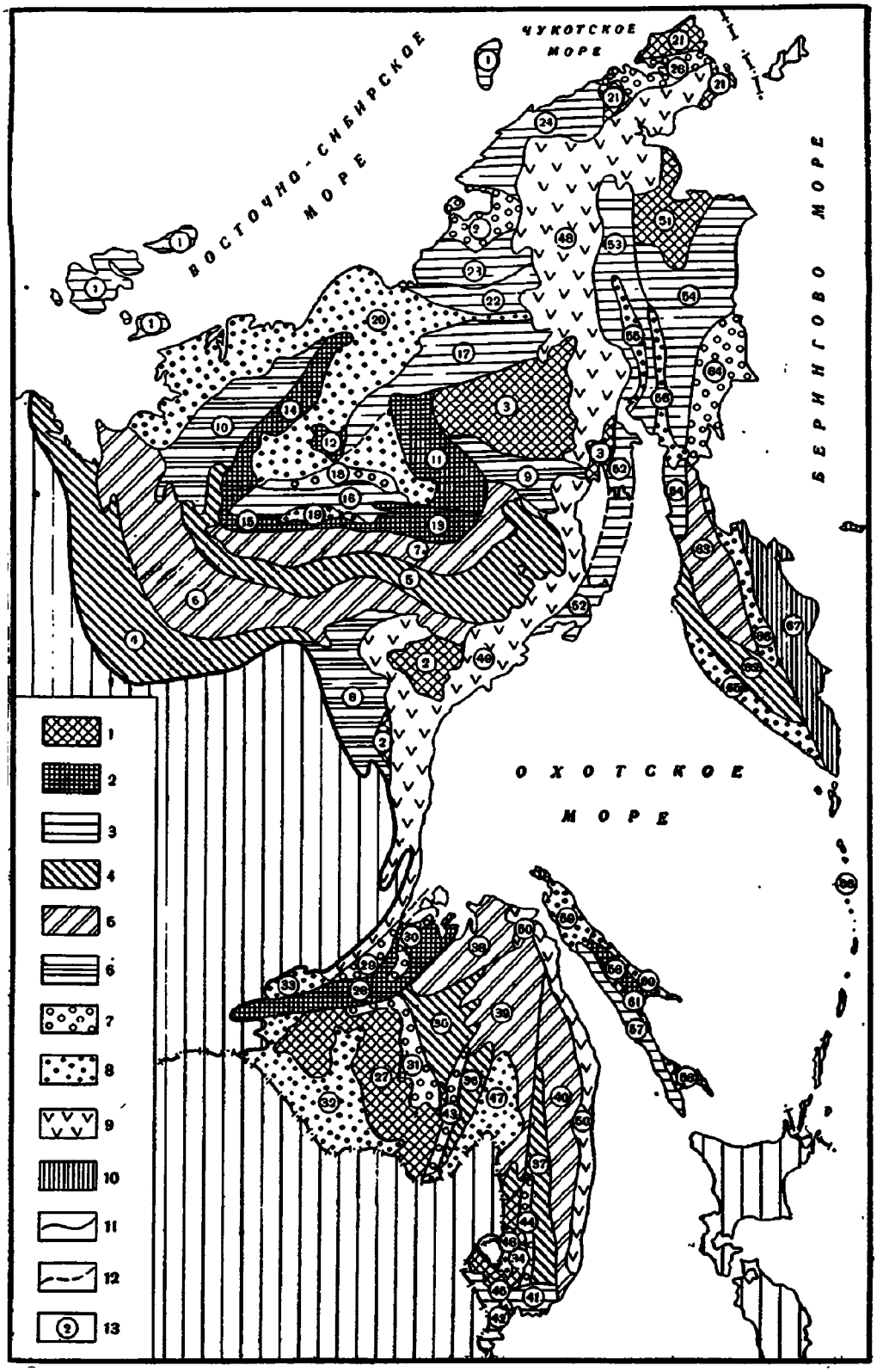
ГЛАВА 1

ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА В ДОЧЕТВЕРТИЧНОЕ ВРЕМЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Дальний Во́сток в широком понимании этого названия охватывает большую территорию страны к востоку от Приверхоянского и Верхне-Амурского прогибов. Он включает мезозоиды Северо-Востока СССР, Приамурья и Сихотэ-Алиня, значительную часть Восточно-Азиатского вулканогенного пояса и мезозойско-кайнозойские складчатые системы Сахалина, Камчатки, Корякского нагорья и Курильских островов (рис. 2). Последние вместе с Восточной Камчаткой и глубоководными котловинами и желобами часто относят к современной геосинклинали. Вся эта территория вместе с краевыми морями (Беринговым, Охотским и Япо́нским) принадлежит северо-западной части Тихоокеанского подвижного пояса.

Историю геологического развития территории Дальнего Востока, учитывая особенности эволюции в отдельные периоды, представляется удобным рассматривать по следующим временным этапам: 1) ранний докембрий; 2) поздний докембрий — ранний палеозой (поздний протерозой, кембрий); 3) ранний — средний палеозой (ордовик, силур, девон, ранний карбон); 4) поздний палеозой (средний — поздний карбон, пермь); 5) мезозой (триас, юра, мел); 6) кайнозой (палеоген, неоген, четвертичный период). Это деление в основном отвечает закономерностям геологических событий (рис. 3).

В раннем докембрии сформировались структуры археид и ранних протерозоид, сохранившиеся в фундаменте Восточно-Чукотского, Охотского, Омолонского, Буреинского и Ханкайского массивов. В раннем палеозое было завершено формирование структур поздних байкалид. В среднем палеозое на больших пространствах шли напряженные и мощные геосинклинальные опускания, что почти полностью исключает наличие на рассматриваемой территории каледонских структур. В позднем палеозое осуществлялась тектоническая перестройка довольно крупных регионов юга Востока СССР. В мезозое продолжалось после некоторого перерыва геосинклинальное или близкое к нему по типу прогибание в Монголо-Охотской, Сихотэ-Алинской, Верхояно-Колым-


ЧУКОТСКОЕ МОРЕ
ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ МОРЕ
БЕРИНГОВО МОРЕ
ОХОТСКОЕ МОРЕ
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13

ской, Чукотской системах, завершившееся в средней—поздней юре и в мелу формированием складчатых сооружений, охвативших значительные пространства северо-восточной Азии. Важнейшее значение имел мезозойский магматизм. Кайнозой характеризовался образованием островных дуг, составляющих пример гигантских преобразований верхней мантии, четко выраженный на поверхности тектоносферы.

Ранний докембрий. История развития Дальнего Востока в раннем докембрии с трудом поддается восстановлению из-за глубокого метаморфизма исходных образований и фрагментарности проявления данных образований в современном эрозионном срезе.

Вопрос об особенностях раннедокембрийского литогенеза является дискуссионным. Имеется точка зрения, что архейские области седиментации на Востоке СССР еще мало разнились между собой и не имели четко выраженных линейных форм, свойственных геосинклиналям. Другие исследователи признают существенно эвгеосинклинальную природу древнейших прогибов. Всюду архейские комплексы представлены глубоко метаморфизованными (в гранулитовой, реже амфиболитовой фациях) породами, возникшими преимущественно за счет метаморфизма первично-осадочных и вулканогенных образований. Типичны гиперстенсодержащие гнейсы и кристаллические сланцы, высокоглиноземистые гнейсы, гранулиты, кальцифиры, мраморы и кварциты.

Формированию более дифференцированных по составу пород раннего протерозоя предшествовала тектоническая перестройка на рубеже архея и протерозоя, сопровождавшаяся раздроблением и обрушением архейских глыб, фрагменты которых сохранились в виде ядер Омолон-

---

Рис. 2. Схема тектонического районирования Дальнего Востока (составили: Л. И. Красный, В. К. Елисеева):

1 — массивы; 2 — поднятия; 3 — складчатые зоны; 4 — мегантиклинории, антиклинории; 5 — мегасинклинории, синклинории; 6 — пригеосинклинальные прогибы; 7 — прогибы; 8 — впадины; 9 — вулканогенный пояс; 10 — антиклинальные зоны; 11—12 — границы структур соответственно: установленные и предполагаемые; 13 — название структурных подразделений: 1 — Новосибирско-Чукотская мезозойская складчатая зона (система); Верхоянско-Колымская складчатая система. 2—3 — массивы: Охотский и Омолонский; 4—5 — мегантиклинории соответственно: Верхоянский и Адыча-Детринский; 6 — Янский мегасинклинорий; 7 — Иньяли-Дебинский синклинорий; 8—10 — пригеосинклинальные прогибы: Аллах-Юнский, Сугойский и Ольджойский. Алазейская складчато-глыбовая система. 11—15 — поднятия: Приколымское, Западно-Алазейское, Омулевское, Полоусненское, Тас-Хаяхтахское; 16—17—складчатые зоны: Илинь-Тасская и Восточно-Алазейско-Олойская; 18 — Зырянский прогиб; 19—20 — впадины: Момская и Приморская. Чукотская складчатая система. 21 — Восточно-Чукотский массив; 22—24 — складчатые зоны соответственно: Южно-Анюйская, Анюйская и Чаунская; 25—26—прогибы: Раучуанский и Ванкаремо-Мечигменский. Монголо-Охотская складчато-глыбовая система. 27 — Буреинский массив; 28 — Джагды-Шантарское поднятие; 29—31 — прогибы: Удский, Торомский и Буреинский; 32—33 — впадины: Зее-Буреинская и Верхне-Зейская. Сихотэ-Алинская складчатая система. 34 — Ханкайский массив; 35—37 — антиклинории: Ниланский, Ванданский и Центрально-Сихотэ-Алинский; 38—40 — синклинории: Амгунский, Горинский и Восточно-Сихотэ-Алинский; 41—42 — складчатые зоны: Южно-Приморская и Гродековская; 43—44 — прогибы: Куканский и Даубихинский; 45—47 — впадины: Суйфунская, Ханкайская и Средне-Амурская. Восточно-Азиатский вулканогенный пояс. 48 — Эвено-Чукотское звено; 49 — Приохотское звено; 50 — Восточно-Сихотэ-Алинское звено. Охотско-Корякская складчатая система. 51 — Анадырский массив; 52—54 — складчатые зоны: Тауйско-Тайгоносская, Пенжинско-Анадырская и Корякская; 55—56 — впадины: Пенжинско-Марковская и Парапольская. Сахалинская складчатая система. 57 — Западно-Сахалинская складчатая зона; 58 — Восточно-Сахалинское поднятие; 59—60 — прогибы: Северо-Сахалинский и Пограничный; 61 — Поронайская впадина. Камчатская складчатая система. 62 — Южно-Камчатский антиклинорий; 63 — Центрально-Камчатский синклинорий; 64 — Олюторский прогиб; 65—66 — впадины: Западно-Камчатская, Центрально-Камчатская. Курило-Камчатская геосинклиналь. 67 — 68 — антиклинальные зоны соответственно: Восточно-Камчатская и Курильская

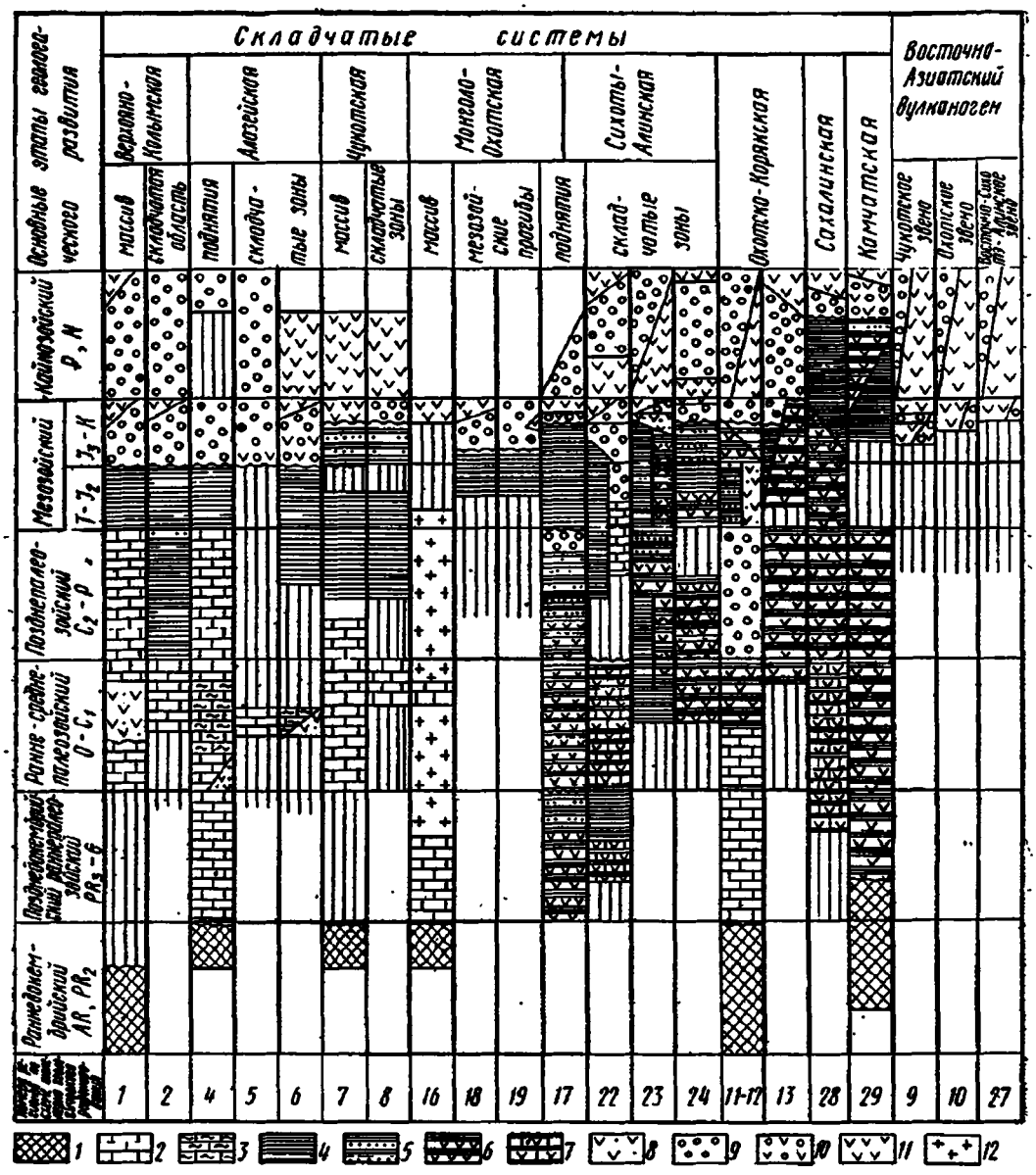


Рис. 3. Схема расположения основных формаций в складчатых структурах Дальнего Востока:

1—12 — формации и группы формаций соответственно: метаморфическая; терригенно-карбонатная; терригенно-карбонатная галогенная; терригенная песчано-глинистая; терригенная флишоидная; вулканогенно-кремнисто-терригенная; вулканогенно-терригенно(кремнисто)-карбонатная; вулканогенно-терригенная; молассовая терригенная; молассовая вулканогенно-терригенная; вулканогенная и гранитоидная

ского, Охотского массивов и др. Среди раннепротерозойских образований намечаются крупные линейные зоны развития амфиболитов, амфиболсодержащих гнейсов и зеленокаменных сланцев, обширные области накопления высокоглиноземистых и карбонатных серий (Буреинский, Омолонский, Ханкайский массивы) и зоны преобладания смешанных — вулканогенно-терригенно-карбонатных седиментационных ассоциаций (Приколымское поднятие, Малый Хинган). Общими и бесспорно специфическими для всех эпох раннего докембрия являются железистые

кварциты джеспилитового типа. Появляясь в архее, эти образования достигают наибольшего распространения в раннем протерозое.

С периодом главной эпохи тектогенеза протерозоид связана интенсивная гранитизация пород, а поздние и заключительные стадии развития складчатых областей протерозоид отмечены магматическим комплексом пестрого, часто основного состава, локализующимся в пределах линейных приразломных структур.

Поздний докембрий — ранний палеозой. Поздний протерозой и начало палеозоя на Дальнем Востоке были тесно связаны. Этот весьма продолжительный отрезок времени характеризовался образованием новых структурных форм и своеобразной литогенетической обстановкой. На большей части Северо-Востока в этот период существовал режим подвижной платформы (Хайн, 1964). Нисходящие движения, проявившиеся в позднепротерозойское время, создали ряд прогибов, обрамлявших с востока Сибирскую (Хараулахский) и с юга Гиперборейскую (Котельгическо-Чукотский) платформы. В прогибание были включены также значительные площади Алазейской системы, краевые зоны Омолонского, Анадырского и Охотского массивов. На юге Дальнего Востока, на огромной площади между Сино-Корейским и Алдано-Становым щитами, в позднем протерозое — раннем кембрии также существовали геосинклинальные прогибы.

Поздний протерозой и ранний кембрий явились эпохами древнейшего в истории Востока Азиатского континента карбонатообразования. В этот период на большей части территории (Приколымское поднятие, Малый Хинган, Уссури-Ханкайский район) возникли условия, благоприятные для образования циклически построенных толщ, в которых чередуются терригенные и карбонатные осадки (нередко в сочетании с вулканитами) с преобладанием терригенных толщ в нижних частях серий, а карбонатных (и вулканогенных) в верхних. Высокомагнезиальные хемогенные и водорослевые известняки нередко слагают до половины объема толщ. В это же время к югу от Сибирской платформы впервые образовался прогиб (Джагдинский) с обильным подводным вулканизмом — типичная ортогеосинклиналь, заполнявшаяся мощными толщами вулканогенно-терригенных отложений, среди которых значительное место занимают вулканогенные породы основного состава и кремнистые образования (яшмы, различные кремнистые сланцы).

Существование позднепротерозойских прогибов на крайнем востоке страны гипотетично. Условно к позднему докембрию относится часть метаморфических толщ Сахалина и Камчатки.

В среднем — позднем кембрии произошли активные позднебайкальские движения, сопровождавшиеся инверсией тектонического режима и мощным, главным образом, гранитоидным магматизмом (Буреинский, Ханкайский массивы). Значительная часть территории Дальнего Востока была выведена из области морского осадконакопления. Лишь в остаточных впадинах юга Дальнего Востока (Ханкайский район) формировались грубообломочные молассовые толщи.

Конец раннего палеозоя на юге Дальнего Востока ознаменовался консолидацией обширной области, тяготеющей к Амуру (бассейны рек Зеи, Селемджи, Буреи, Сунгари и Уссури). Этот континентальный массив, спаянный гранитными интрузиями, названный Палеоамурией, составлял костяк, в пределах которого в последующее время фанерозоя вновь образовывались и замыкались прогибы и впадины с морским и континентальным осадконакоплением и нередко возникали вспышки интрузивного и эффузивного магматизма.

Ранний — средний палеозой. Этот этап охватывает геологическое вре-

мя от ордовика (на юге Дальнего Востока с силура) по ранний карбон включительно и на значительной территории Дальнего Востока как бы предваряет последующее мощное геосинклинальное прогибание.

В ордовикско-среднепалеозойское время на северо-востоке территории существовала обширная геосинклинальная область, характеризовавшаяся наличием устойчивых прогибов. В ордовике и раннем силуре в прогибах накапливались поразительно однообразные карбонатные и терригенно-карбонатные толщи значительной мощности, лишь на востоке Омулевского поднятия (бассейн р. Рассохи) ордовик представлен породами терригенно-вулканической формации. На протяжении девона (местами начиная с позднего силура) в прогибах формируются терригенно-карбонатные пестроцветные гипсоносные толщи со значительным количеством грубообломочного материала. Это, возможно, указывает на инверсию здесь геотектонического режима. Поднятие сопровождалось перерывами в осадконакоплении, которые отмечаются на Омолонском и Охотском массивах, а иногда и в зонах их обрамления. В основании верхнедевонских отложений нередко устанавливаются мощные (первые сотни метров) толщи конгломератов с галькой более древних пород. На Алазейском плато, Омолонском и частью Охотском массивах в девоне в наземных и реже подводных условиях из центральных и трещинных вулканов происходит излияние лав среднего и кислого состава и формирование мощных толщ пород пестроцветной вулканогенно-терригенной формации.

На юге Дальнего Востока к началу рассматриваемого этапа геосинклинальные условия сохранились лишь в Джагдинском прогибе. Регенерация условий, близких к геосинклинальным, в складчато-глыбовой области поздних байкалид наступила в силуре. По системе новообразованных разломов вдоль довольно широких окраинных частей массивов (Бурсинского и Ханкайского) опустились значительные части Палеоамурии. Началось формирование крупных геосинклинальных систем — Сихотэ-Алинской и Ниппонской. Девон и ранний карбон в целом характеризовались продолжающимся погружением. В прогибах периферического типа, охвативших окраины Буреинского и Ханкайского массивов, в силуре и девоне в сравнительно спокойной тектонической обстановке отлагались терригенные и карбонатно-терригенные осадки, местами с незначительной примесью вулканогенного материала. Геосинклинальные прогибы Джагдинский, Шантарский, Сихотэ-Алинский заполнялись мощными толщами вулканогенно-кремнисто-терригенных образований. Прогибы, интенсивно насыщенные вулканогенными и кремнистыми продуктами (30—50% общего объема осадков), связаны с зонами наибольшей проницаемости глубинных разломов (Шантарский девонский прогиб). От них существенно отличаются прогибы с кремнисто-терригенными осадками и умеренным (менее 30%) содержанием силицилитов, эффузивов и пирокластов (Сихотэ-Алинский раннекаменноугольный прогиб).

История геологического развития восточных и северо-восточных окраин описываемого региона, тяготеющего к границе Тихоокеанского талассократона, в среднем палеозое основывается существенно на данных по Японским островам, где от силура к девону и далее к раннему карбону фиксируется нарастание геосинклинального прогибания с широким развитием в девоне и раннем карбоне подводной вулканической деятельности. На Сахалине (Восточно-Сахалинские горы) предполагается продолжение Ниппонских среднепалеозойских геосинклинальных структур. Наиболее достоверные среднепалеозойские геосинклинальные кремнисто-вулканогенные толщи имеются в Корякском нагорье.

Среднепалеозойский магматизм на территории Дальнего Востока по сравнению с другими этапами фанерозоя не был выражен столь же ярко. Имеются данные о среднепалеозойских интрузиях, располагающихся вдоль стыков жестких структур с подвижными системами. Состав интрузивных образований преимущественно осиовной. Резко подчиненное значение имеют ультраосновные и кислые породы.

Поздний палеозой. Сравнительно длинная и важная эпоха, охватывающая средний и поздний карбон и пермь, имела для Дальнего Востока существенное значение. На севере Дальнего Востока в Верхояно-Колымской системе в позднем палеозое происходили интенсивные иисходящие движения, которые обусловили накопление мощных песчаниково-сланцевых толщ в Верхоянском, Аллах-Юньском, Янском, Сугойском и других прогибах. Прогибания захватили и значительные участки поднятий Алазейской системы и Омолонский массив, где в условиях мелкого эпиконтинентального моря формировались терригенно-карбонатные и карбонатные отложения небольшой мощности. В позднепермское время в Западном Верхояиье проявились местные инверсионные движения, которые обусловили формирование флишоидных и угленосных параллических формаций. Эти движения сопровождались деформацией осадочных толщ в сравнительно пологие складки, а также излиянием по разломам лав основного состава (базальты, диабазы). На Омолонском, Охотском, Хромском, Восточно-Чукотском массивах и в Алазейской системе в поздней перми осадкообразование было сосредоточено в основном в краевых частях, где в остаточных впадинах аккумулировались мелководные карбонатно-кремнисто-терригенные толщи, иногда с небольшим содержанием вулканогенных пород (Алазейская система).

На рубеже палеозоя и мезозоя (пермь — ранний триас) вблизи границы с Охотским массивом начали обособляться специфические терригенно-туфовые прогибы, имеющие, возможно, связь с зарождающимся Восточно-Азиатским вулканогенным поясом.

В Чукотской системе в средне-позднекаменноугольное время происходит инверсия геотектонического режима. Поднятие сопровождалось складчатыми движениями, интенсивность которых уменьшалась в направлении от центральных частей прогибов к их периферии. В результате сформировались структуры, характеризующиеся пологими спокойными и реже иапряженными линейными складками. К средне-позднекаменноугольным движениям приурочено внедрение интрузий гранитоидов и габбро.

На юге Дальнего Востока, в Монголо-Охотской системе, в позднем палеозое заметно усилилось воздымание. Разросшееся поднятие Буреинского массива оттеснило к востоку и югу позднепалеозойские прогибы. Геосинклинальные условия седиментации сохранились лишь в Западно-Джагдинском прогибе.

В карбоне и перми условия образования осадков, проявления магматизма и метаморфизма в Сихотэ-Алинской и Хоккайдо-Сахалинской геосинклинальных системах были весьма сходны. Обе системы составляли часть обширной Ниппонской геосинклинальной области и развивались унаследованно от предыдущего этапа. В состав Сихотэ-Алинской системы в позднем палеозое входили три главных геосинклинальных прогиба (с запада на восток): Ванданский, Центральный и Ольга-Тетюхинский. В этих прогибах отлагались мощные (от 5000 до 8000 м) терригенно-кремнисто-вулканогенные толщи. Некоторые прогибы Сихотэ-Алиня, возможно, развивались непрерывно в течение позднего палеозоя и мезозоя. Однако имеются и неопровержимые данные об энер-

гичных каменноугольных и особенно пермских движениях на юге этой системы. Об этом же свидетельствует появление грубообломочных молассовых комплексов в разрезе верхнего палеозоя Южного Приморья (п-ова Трудный и Дунай, бассейн р. Партизанская).

В позднем палеозое происходило поднятие Ханкайского массива, сопровождавшееся внедрением интрузий, главным образом гранитоидов. В начале описываемого этапа, вероятно, продолжал свое развитие периферический Притихоокеанский геосинклинальный пояс. В Корякском нагорье (Хатырский район) в среднем — верхнем карбоне и перми происходило накопление кремнисто-вулканогенной формации. О позднепалеозойских отложениях Камчатки и Курильских островов ничего не известно, хотя и не исключено, что в первом из этих районов верхнепалеозойские (особенно пермские) отложения могут быть найдены. Предполагается, что на месте Курильской дуги в палеозое существовала геосинклинальная область. В известной степени это обосновывается наличием верхнепермских вулканогенно-осадочных толщ на Сахалине, где в Таулан-Армудаиском и Восточно-Сахалинском хребтах наблюдался разрез подводных эффузивов, яшм и различных туфов с линзами известняков.

На конец палеозоя приходится процесс становления гранитоидного магматизма, постепенно нараставшего к концу перми и продолжавшегося в раннем триасе. Интрузивный кислый магматизм наиболее мощно проявился вне геосинклинальных трогов, локализуясь в срединных массивах и в зонах поднятий геосинклинальных систем, испытывавших устойчивые и интенсивные воздымания. Позднепалеозойские габброиды образуют небольшие массивы и являются, возможно, ранней фазой магматического цикла.

Мезозой. В мезозое наблюдается ясно выраженная тенденция постепенного отступания все более молодых морских геосинклинальных прогибов на восток, в сторону Тихого океана. Этот, отмеченный многими исследователями процесс сопровождался и омоложением магматизма во внегеосинклинальных областях в том же восточном направлении. Особенно четко его можно проследить в Монголо-Охотской системе.

В мезозое на территории Дальнего Востока существовали почти все типы подвижных областей и систем:

а) развивающиеся на жестком в целом слабо раздробленном основании с однородным терригенным осадконакоплением. Эти своеобразные геосинклинальные области (Верхоянско-Колымская, Чукотская) либо почти лишены инициального магматизма, либо он близок к платформенному (трапповому);

б) сформировавшиеся на сильно раздробленном фундаменте с разнообразными кремнисто-вулканогенно-терригенными отложениями, нередко с рифовыми постройками (Сихотэ-Алинская геосинклинальная система);

в) образованные на опущенных краевых частях массивов, близкие по типу осадконакопления к терригенным подвижным областям Северо-Востока СССР (Монголо-Охотская геосинклинальная система);

г) имеющие самостоятельный тип развития (окраинно-материковые вулканогенные пояса и их звенья) вулканогены с закономерно сменяющимися по вертикали андезитовыми, риолитовыми и базальтовыми формациями (Восточно-Сихотэ-Алинский, Приохотский и Эвено-Чукотский вулканогены);

д) характеризующиеся унаследованным развитием геосинклинального пояса (тихоокеанские окраины — Сахалин, Корякское нагорье).

На севере Дальнего Востока в мезозое, особенно в его первой поло-

вине (триас — средняя юра), продолжался режим, создавший особого типа геосинклинальные условия. Как и ранее, здесь различались Верхояно-Колымская и Чукотская области. В ранне-среднетриасовое время развитие геосинклинальных тенденций в Верхояно-Колымской системе происходило главным образом по заложенному в позднем палеозое плану: по-прежнему существовала серия геосинклинальных прогибов с терригенным осадконакоплением, разделенных складчатыми поднятиями (Верхоянское, Адыча-Детринское и др.). Более четко в это время выразилось Верхоянское поднятие, которое отделяло морской геосинклинальный бассейн Яно-Колымской зоны от пресноводно-континентального Западно-Верхоянского. Поднятие фиксируется наземными молассоидными нижне-среднетриасовыми отложениями, располагающимися на западном склоне Верхоянского мегантиклинория, и синхронными морскими отложениями на его восточном склоне. В позднем триасе и в начале раннеюрского времени в геосинклинальной области происходят крупные опускания, вследствие чего расширяются области осадконакопления и испытывают погружения ранее образованные геоантиклинальные поднятия. В юре происходит общая инверсия геотектонического режима. Начало ее падает на раннюю юру, а кульминация — на позднеюрское — раннемеловое время. Эта инверсия ознаменовала усиление восходящих движений, разрастание Верхоянского и других поднятий и формирование в смещающихся к востоку прогибах (Сартангский, Иньяли-Дебинский, Ольджойский) флишоидных и молассовых формаций. Крупные поднятия и сопровождающие их складчатые движения произошли в позднеюрское — раннемеловое время, охватив не только уже сформированные поднятия геосинклинали, но и ее окраинные прогибы.

Следствием инверсионных движений в поздней юре и мелу на массивах и в подвижных зонах явилось образование позднегеосинклинальных прогибов и впадин, где происходило накопление мощных толщ молассовых формаций. В инверсионную стадию по тектонически ослабленным зонам и разломам, локализованным по периферии подвижных зон, происходило излияние эффузивов, внедрились громадные массы гранитоидной магмы, обусловившей становление батолитовых плутонов, образующих лентовидные пояса большой протяженности. Возникновение подобных поясов еще больше способствовало консолидации рассматриваемой области. Наиболее интенсивные тектонические движения проявились в раннемеловое время, они выразились в консолидации геосинклинальной системы и превращении ее в складчатую зону. Для складчатых сооружений, созданных мезозойским тектогенезом в Верхояно-Колымской складчатой системе, в целом характерно широкое площадное развитие пологих синклинорных структур и подчиненное — антиклинорных. Характерной особенностью строения Верхояно-Колымских мезозоид является различная степень дислоцированности позднепалеозойско-мезозойских пород в зависимости от удаленности от жестких сооружений и глубины залегания фундамента. Так, близ Алазейской складчато-глыбовой системы развиты напряженные линейные складки. При движении к центральной части складчатой области (Адыча-Эльгинский район) линейные складки сменяются пологими широкими сундучными антиклиналями, разделенными узкими приразломными синклиналями, сформировавшимися на сравнительно неглубоко залегающем жестком фундаменте. Далее при движении в сторону Сибирской платформы степень дислоцированности пород увеличивается.

В Чукотской системе на рубеже перми и триаса либо в самом конце поздней перми в результате раскалывания палеозойского основания

образовалась серия вытянутых в северо-восточном направлении геосинклинальных прогибов, где накапливались толщи терригенных осадков. В ранне-среднетриасовое время в Чукотской системе образовался ряд внутригеосинклинальных поднятий, формирование которых сопровождалось излияниями лав базальтового и андезитового состава и внедрением преимущественно пластовых интрузий. В позднетриасовое время геосинклинальная система вновь испытывает погружение. Позднеюрское — раннемеловое время знаменательно складчатыми и складчато-глыбовыми движениями, проявившимися здесь несколько слабее, чем в Верхояно-Колымской системе, что объясняется сравнительно неглубоким залеганием докембрийского и палеозойского складчатого основания. В позднеюрское время в пределах Восточно-Чукотского массива сформировался глубокий Мечигменский прогиб, в котором накапливались терригенные флишоидные осадки, а позднее, в мелу, — вулканогенные образования.

В инверсионную стадию в Чукотской системе по зонам разломов внедрились полигенные плутоны, локализовавшиеся в сводах или на крыльях поднятий или в полосе сочленения жестких сооружений с подвижными зонами.

Раннемезозойская история Алазейской системы недостаточно ясна, но многие исследователи придерживаются мнения о сквозном ее развитии в палеозое и мезозое. Ограниченно выходящие на дневную поверхность триас-среднеюрские отложения в Восточно-Алазейско-Олойской складчатой зоне, представленные туфогенно-терригенной толщей, указывают на значительное проявление вулканизма. Позднеюрское время в Алазейской системе ознаменовалось заложением глубоких прогибов (Илинь-Тасский, Восточно-Алазейско-Олойский), в которых аккумулировались преимущественно грубообломочные морские терригенные и вулканогенно-терригенные молассы и континентальные угленосные образования.

Складчатые сооружения Чукотской и Алазейской систем, созданные мезозойским тектогенезом, отличаются от синхронных складчатых сооружений Верхояно-Колымской системы меньшей деформированностью и относительно большей простотой рисунка. Антиклинорные поднятия имеют облик неравномерно деформированных складчато-глыбовых образований, форма которых во многом определена глыбовой мозаикой основания мезозоид. Для синклинорных прогибов характерен избирательный пликативный тектогенез, связанный с увеличением степени дислоцированности пород близ зон разломов.

На юге Дальнего Востока в мезозое продолжались процессы расчленения его на более или менее самостоятельные тектонические элементы. В одних из них, наиболее подвижных, продолжалось или вновь возобновилось геосинклинальное осадконакопление (Монголо-Охотская и Сихотэ-Алинская системы), в других — наблюдалось умеренное погружение и образование своеобразных окраинных прогибов по бортам опускающихся частей массивов (Даубихинский и Куканский прогибы), в третьих — на фоне общего воздымания происходило раскалывание, сопровождавшееся активным эффузивным и интрузивным магматизмом (Буреинский и Ханкайский массивы).

Геосинклинали Монголо-Охотской системы, развивавшиеся на жестком основании, отличались накоплением в их прогибах мощных толщ терригенных осадков, часто ритмично наслоенных. Для них характерна местами сложная геосинклинальная складчатость. Поздний мел для Монголо-Охотской системы относится уже к постинверсионной стадии и характеризуется континентальным вулканизмом.

Особое положение занимает Буреинский прогиб, как бы врезанный в жесткую глыбу Буреинского массива. По формационным признакам триасовых и юрских осадков, а также по особенностям складчатости (на востоке прогиба узкие линейные складки, устойчивые по простиранию) он стоит близко к геосинклинальным прогибам Монголо-Охотской системы, представляя собой в юре пригеосинклинальный прогиб с мощным терригенным осадконакоплением, открывающийся к северу и, возможно, к северо-востоку. Только в самом конце юры и в раннем мелу он приобрел новое качество, превратившись в окраинный прогиб Буреинского массива (формирование молассовых формаций).

Сихотэ-Алинскую систему в мезозое, так же как и в позднем палеозое, следует рассматривать совместно с Хоккайдо-Сахалинской. Они в течение позднего триаса, большей части юры и раннего мела развивались унаследованно и характеризовались накоплением геосинклинальных кремнисто-вулканогенно-терригенных формаций. В наиболее опущенных частях, примыкающих к долгоживущим глубинным разломам, геосинклинальное развитие (накопление флишоидной формации) продолжалось и в позднем мелу. Мезозойские прогибы Сихотэ-Алинской системы подразделяются на два подтипа: один короткого развития, приуроченный к окраинам быстро воздымающихся узких поднятий и еще более быстро опускающихся трогообразных прогибов, а другой, характеризующийся длительным и устойчивым погружением. К первому из них относятся сравнительно узкие троги, в которых происходило быстрое опускание, возможно, полностью не компенсированное осадками. Сюда относятся позднетриасовые прогибы — Хабаровский и Верхнеамгунский, раннелейасовый — Киселевский и др. Второй подтип прогибов обычно унаследован от предыдущего цикла. К нему можно отнести Восточно-Сихотэ-Алинский прогиб и др.

Вблизи жестких сооружений инверсия геотектонического режима наступала раньше и значительные районы подвижных систем присоединялись к массивам или геоантиклинальным сооружениям. На западе Сихотэ-Алинской системы в Куканском и Даубихинском прогибах в поздней перми и раннем и среднем триасе накапливались мощные морские толщи, характерные для окраинных или пригеосинклинальных прогибов, а в ранней — средней юре — терригенные, нередко грубообломочные осадки также значительной мощности. Подобные же структурные погружения, выполненные триасовыми и местами юрскими отложениями, присущи и для окраин жестких сооружений Южного Приморья.

В мелу близкие процессы происходили по периферии антиклинория Центрального Сихотэ-Алиня. К северу и к западу от него послеваланжинские (главным образом баррем-нижнеальбские, сеноман-туронские и турон-сантонские) отложения обычно представлены молассами (конгломераты, вулканиты андезитового состава).

Интрузивный магматизм юрского времени тяготеет к Центральному Сихотэ-Алинскому антиклинорию. Это, с одной стороны, гранитоидные интрузии, а с другой — пироксениты и нефелиновые сиениты. К району северного погружения упомянутой структуры приурочены гипербазиты — габбро и гранитоиды доальбские — позднеготеривские-барремские (?). Следующий интрузивный комплекс (позднесенонский) сложного состава — от габбро-диоритов до лейкократовых гранитов — характеризует важную переломную эпоху в развитии Сихотэ-Алинской системы — переход от геосинклинальной стадии к стадии общей инверсии. И наконец, постинверсионные тектонические движения сопровождались обширным наземным вулканизмом и внедрением металлогенически продуктивных гранитоидов.

Мезозойскую историю Хоккайдо-Сахалинской системы восстановить нелегко, так как многие толщи, обозначающиеся на геологических картах как мезозойские, не имеют достоверной датировки. В пределах Восточного Сахалина развиты условно триасовые — нижнемеловые отложения, принадлежащие кремнисто-вулканогенно-терригенной формации. Геосинклинальные условия здесь, вероятно, продолжались до конца мела. Этот весьма протяженный геосинклинальный прогиб, как было ранее указано, существовал еще в палеозое. Меловой прогиб Западно-Сахалинских гор, выполненный мощной (до 8000 м) толщей терригенных отложений, может рассматриваться как окраинный, расположенный на погрузившейся под воды Японского моря и Татарского пролива восточной части гипотетического Япономорского массива. На рубеже позднего мела и палеогена вся Хоккайдо-Сахалинская система была вовлечена в поднятие и захвачена складчатостью.

В мезозое вновь возобновилось геосинклинальное осадконакопление в Охотско-Корякской системе — в триасе и западной Тауйско-Тайгоносской зоне и с поздней юры — в Пенжинской и Центрально-Корякской зонах. На ранних стадиях в прогибах отлагались терригенные осадки с горизонтами средних лав и их туфов, вулканогенные (Тауйско-Тайгоносская зона) и весьма характерные кремнисто-вулканогенные породы (Корякская зона). В раннем мелу в результате инверсии прогибы были расчленены на внутренние поднятия и узкие прогибы, в которых накапливались молассовые морские и континентальные угленосные формации и происходили наземные излияния андезитовой и базальтовой магмы. В дании или в самом начале палеогена произошли всеобщая инверсия и складкообразование, в результате которой окончательно сформировались складчатые структуры Охотской области.

Не менее важным четко выраженным мезозойским новообразованием является пограничный Восточно-Азиатский вулканогенный пояс, включающий три звена: Эвено-Чукотское, Приохотское и Восточно-Сихотэ-Алинское.

Сложный и относительно длинный процесс эволюции вулканизма отмечается в Приохотском и Эвено-Чукотском звеньях, имевших длительную вулканическую предысторию. Собственно нижнемеловой, существенно андезитовый магматизм местами продолжает верхнеюрский, а местами несогласно перекрывает более древние отложения. Естественно, что на огромном протяжении пояса условия образования нижнемеловых вулканических толщ не могут быть одинаковы. Так, например, на севере, в пределах Эвено-Чукотского отрезка пояса, излияние лав основного состава происходило в подводных условиях. В других районах накопление нижнемеловых вулканических толщ тесно переплеталось с континентальными, нередко угленосными осадками. В конце альба отмечается важная фаза тектогенеза, к которой приурочены складкообразование, поднятия и внедрение гранитных интрузий. Вслед за этой эпохой, представлявшей собой известную консолидацию вулканогенного пояса, наступило резкое изменение глубинных условий образования вулканических толщ. Вулканические породы позднего мела имеют кислый состав, местами (Омсукчанский район) прорваны интрузиями гранитоидов.

История геологического развития Восточно-Сихотэ-Алинского звена в общих чертах повторяет только что описанное развитие северных звеньев пояса. Региональное проявленное угловое несогласие отделяет мезозойскую (до низов верхнего мела включительно) терригенно-вулканогенную морскую формацию от мощных наземных вулканических

толщ сенон-палеогенового возраста. В пределах последней выделяется сенон-датский вулканогенный комплекс, представленный туфами кварцевых и дацитовых порфиров, фельзитов и дацитов; невадитами, их туфами, игнимбритами кварцевых порфиров. Далее следует внедрение диоритов, гранодиоритов и гранитов и формирование датско-палеоценового вулканогенного комплекса (липариты, дациты, игнимбриты).

Вулканогенные зоны, удаленные в сторону материка от описанного выше Восточно-Азиатского вулканогенного пояса, развивались также в юрское и меловое время и имеют с ним многие сходные петрологические, тектонические и металлогенические особенности. Некоторые из этих зон завершают геосинклинальную предысторию, а другие резко несогласно со значительным перерывом накладываются на более древние образования. Вулканогенные зоны почти всюду находятся в пространственной и генетической связи с континентальными постинверсионными впадинами периода активизации. Иногда вулканиты накладываются в виде отдельных разрозненных полей, контролируемых общей разрывной структурой. Возраст вулканогенных зон омолаживается по направлению с запада на восток в соответствии с временем консолидации подвижных областей. Так же, как в звеньях Восточно-Азиатского пояса, в вулканогенных зонах первый этап вулканической деятельности отмечается преобладанием лав основного и среднего состава, а второй — после известной потери подвижности (обычно после тектонической паузы) — кислого состава.

Кайнозой. В кайнозое продолжается дальнейшее оттеснение геосинклинального процесса на восток в сторону Тихого океана. На материковой части территории в области мезозоид, в поле развития палеозойских и более древних сооружений, обширные площади испытывают сводовые и сводово-глыбовые поднятия. Осадконакопление происходит лишь в отдельных межгорных впадинах, где формируются в основном, континентальные, часто угленосные, реже осадочно-вулканогенные молассы. Во многих случаях в пограничных с впадинами поднятиях синхронно с развитием погружений происходит энергичная вулканическая деятельность.

В кайнозое продолжается дальнейшее развитие Восточно-Азиатского вулканогенного пояса. В Восточно-Сихотэ-Алинском звене осадконакопление и магматизм в кайнозое являлись непосредственно продолжением соответствующих процессов конца позднего мела, с которыми связаны толщи кислых эффузивов и туфов. Конец палеоцена и ранний — средний эоцен были эпохами спокойного развития этого звена. В позднем эоцене и раннем олигоцене усилилась вулканическая деятельность (потоки базальтов и андезито-базальтов). К концу палеогена извержения кислого состава охватили значительные площади в северной части вулканогена. Одновременно расширились и площади осадконакопления. Привнос кремнезема в озера и лагуны создал благоприятные условия для накопления опок, трепелов и диатомитов. В миоцене вновь изменился состав вулканических продуктов. В северной части Восточно-Сихотэ-Алинского звена накапливались базальты, андезиты. Плиоцен характеризовался энергичными восходящими движениями, в связи с которыми в межгорных впадинах отложились грубообломочные молассы. В самом конце неогена и в начале четвертичного времени наблюдались мощные трещинные излияния базальтовых и андезито-базальтовых лав.

В раннем и позднем палеогене на Восточном Сихотэ-Алине происходило внедрение интрузий, тесно ассоциированных с соответствующими вулканогенными толщами.

В Охотском и Эвено-Чукотском звеньях в кайнозое наступила эпоха угасания магматической активности. К палеогену здесь относятся лишь платобазальты, перекрывающие палеоцен-эоценовые континентальные толщи. В неогене вулканическая деятельность в пределах Западного и Северного Приохотья почти прекратилась, только вблизи восточного побережья Пенжинской губы известны андезиты, перекрывающие верхнепалеогеновые туфопесчаники.

Геосинклинальное развитие в кайнозое на территории Дальнего Востока продолжается лишь в периферическом Притихоокеанском поясе. В палеогене отчетливо намечаются два типа разрезов: парагеосинклинальный, часто значительной мощности (до 3000 м), завершающий геосинклинальное развитие некоторых подвижных систем (например, Охотско-Корякской и отчасти Хоккайдо-Сахалинской), и геосинклинальный — с морскими осадочными и местами с вулканогенными толщами (Олюторский прогиб, геосинклинали Восточной Камчатки). Морские палеогеновые отложения (эоцен, эоцен—средний олигоцен и верхний олигоцен), предшествующие мощному неогеновому геосинклинальному осадконакоплению, имеют обычно однородный состав и представлены терригенными формациями, иногда в незначительном количестве содержащими вулканиты (краснопольевская и такарадайская свиты на Сахалине, богачевская свита на Камчатке). Анализ геологических событий неогенового периода показал, что тектонические преобразования этого времени не только разрушили выдвинутые далеко на восток материковые глыбы (Охотия, Ямато), но и создали новую обстановку краевых морей, глубоководных впадин в них и островных дуг. В пределах последних за геологически небольшой срок образовались позднепалеогеновые-неогеновые складчатые системы, обычно тесно связанные с позднемеловой предысторией. Начало «распада» стабилизированной в палеоцене — эоцене области падает на средний, чаще поздний олигоцен — ранний миоцен. Однако главная эпоха прогибания была в неогене. За это время в Олюторском прогибе и на Курильских островах накопилось 4—5 км осадков, на Камчатке — 7—9 и на Сахалине — 9—10 км осадков. Эти цифры указывают на общие нисходящие тенденции огромной зоны, протягивающейся от о. Кюсю до Корякского нагорья.

Широко известен мощный островной вулканизм раннего и среднего миоцена. Одна из ветвей области накопления вулканитов протягивается от западного побережья Сахалина на юг, другая — от Олюторского залива также на юг, пересекая по длинной оси Камчатку и Курильские острова. Для вулканитов неогена характерна ассоциация основных и средних по химизму лав, разнообразных, нередко грубообломочных пирокластических пород и вулканомиктовых образований. В позднем миоцене — плиоцене наблюдалась смена состава вулканогенных продуктов от основных и кислых к субщелочным (Восточно-Сахалинские горы).

Все кайнозойские отложения, обычно включая и плиоцен, — складчатые. Иногда это пологая складчатость, а нередко настоящая линейная, как, например, в Западно-Сахалинских горах.

Неогеновый интрузивный магматизм занимает по объему небольшое место, но имеет свои особенности. В районах ранней консолидации кайнозойских подвижных систем (Западная Камчатка, Западный Сахалин) в это время внедрялись мелкие интрузивные тела щелочного состава, в районах, где подвижность сохранилась дольше, — тоже небольшие тела, но уже диоритов, кварцевых диоритов и гранитов.

ГЛАВА 2

ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА В ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Новейшая тектоника. В плейстоцене на территории Дальнего Востока в различной форме с различной интенсивностью проявились новейшие тектонические движения. Что касается времени проявления новейших движений, то раньше всего они охватили западные материковые районы. В самом общем виде можно отметить, что активизация этих движений и омоложение рельефа особенно резко сказались в плиоцен — раннеплейстоценовое время. В позднем плейстоцене имели место сводовые и сводово-глыбовые движения.

На основании большого количества фактического материала с уверенностью можно говорить о возникновении современного горного рельефа в результате расчленения разновозрастных, деформированных новейшими тектоническими движениями поверхностей выравнивания, сохранившихся в большинстве горных районов в виде небольших реликтовых участков и лишь иногда образующих обширные поверхности водоразделов, придающие горам выравненный облик. Особенно широко реликты древнего выравненного рельефа распространены в средней части Сихотэ-Алиня, в горных районах Нижнего Приамурья и Западного Приохотья в области цепей Черского, на Юкагирском плоскогорье, в Анюйском и Корякском нагорьях. В северной части Амуро-Зейской депрессии они образуют обширные возвышенные и холмистые равнины.

Среди структурных форм, возникших в результате проявления новейших движений, можно различать: а) хребты-антиклинории с большими радиусами кривизны (Западно-Сахалинские горы, Сихотэ-Алинь и др.); б) хребты — асимметричные сводовые поднятия или мегантиклинории (Верхоянский, система хребтов Черского и др.); в) межгорные впадины, разделяющиеся в структурном отношении на грабен-синклинали (Средне-Амурская депрессия, Тымь-Поронайская депрессия на Сахалине и др.) и наложенные впадины (Эворон-Чукчагирская, Удыль-Кизинская и Амуро-Амгунская депрессии и др.).

Степень выраженности в рельефе древних структурных элементов весьма различна в отдельных частях территории. В том случае, если древний выравненный рельеф оказался значительно приподнятым новейшими тектоническими движениями и подвергся глубокому расчленению, структурные особенности получают наибольшее геоморфологическое выражение. Зависимость рельефа гор от особенностей древней структуры выражается в том, что большинство горных поднятий, развившихся на мезозойском и кайнозойском складчатом основании, совпадает по своему направлению с простиранием складчатых и разрывных структур. К ним относятся: Верхоянский хребет, система хребтов Черского, Западно-Сахалинские и Восточно-Сахалинские горы, Сихотэ-Алинь и др.

Известное значение в рельефе страны имеют отпрепарированные денудацией древние тектонические разрывы, контролирующие простирание отдельных горных гряд, межгорных и предгорных впадин, определяющие направление речных долин и конфигурацию береговой линии окраинных морей и островов. Весьма значительна рельефообразующая роль молодых разрывных дислокаций.

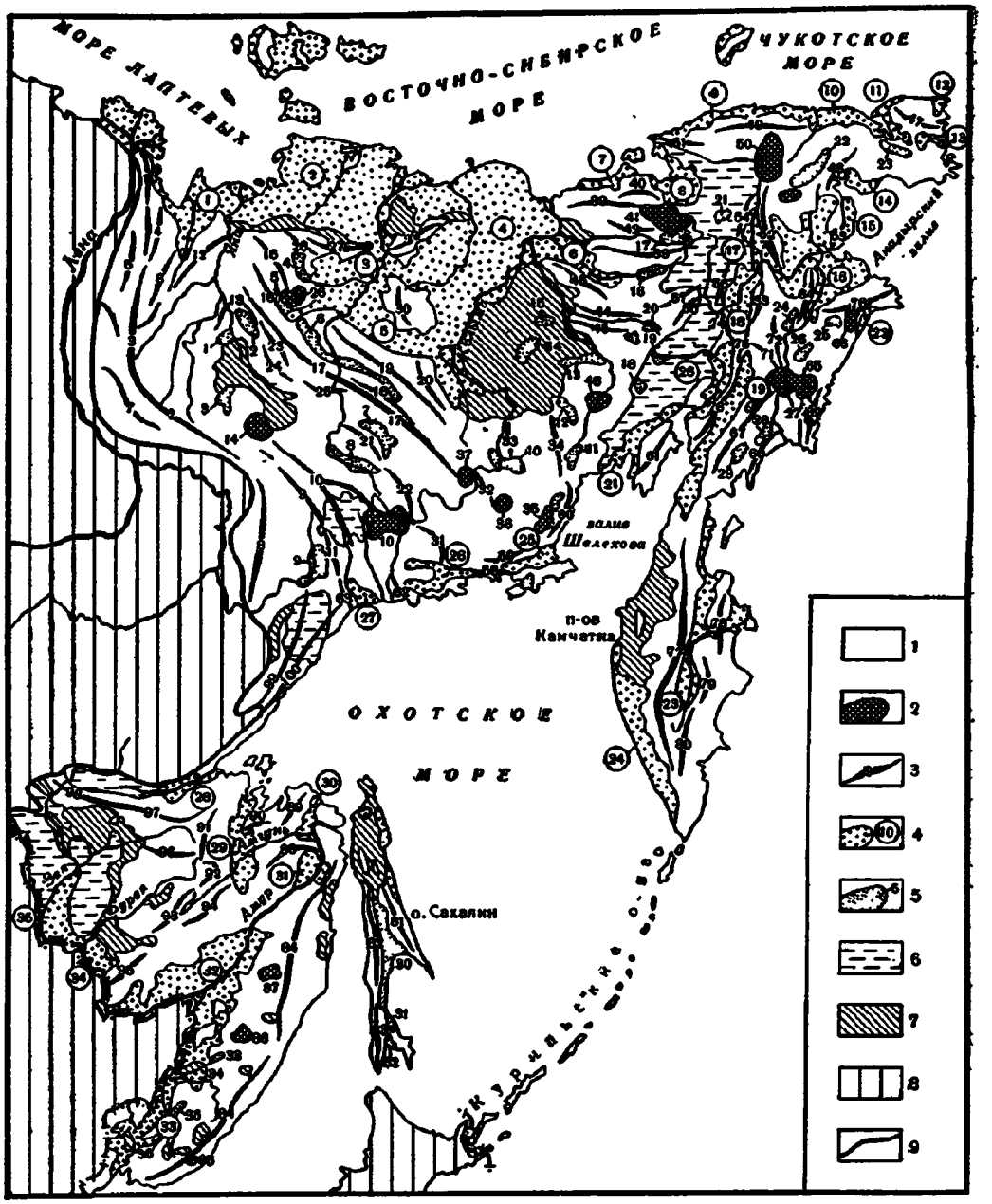


Рис. 4. Орографическая схема Дальнего Востока:
1 — горы; 2 — крупные горные массивы; 3 — горные хребты с порядковым номером; 4 — равнины аккумулятивные с порядковым номером в кружочке; 5 — межгорные впадины с порядковым номером; 6 — структурно-денудационные равнины и плато; 7 — денудационные равнины и плато; 8 — сопредельная территория; 9 — граница территории Дальнего Востока. Равнины. 1 — Омолойская; 2 — Приморская; 3 — Индигирская; 4 — Колымская; 5 — Ожогинский дол; 6 — Анюйская; 7 — Раучуанская; 8 — Чаунская; 9 — Валькаркайская; 10 — Ванкаремская; 11 — Колючинская; 12 — Уэленская; 13 — Мечигменская; 14 — Восточно-Крестовская; 15 — Кайнатхунская; 16 — Нижне-Анадырская; 17 — Бельская; 18 — Марковская; 19 — Парапольский дол; 20 — Пенжинская; 21 — Гижигинская; 22 — Майно-Пылгинская; 23 — Центрально-Камчатская; 24 — Западно-Камчатская; 25 — Ямская; 26 — Тауйская; 27 — Охотская; 28 — Удская; 29 — Эвороно-Чукчагирская; 30 — Амуро-Амгунская; 31 — Удыль-Кизинская; 32 — Средне-Амурская; 33 — Ханкайская; 34 — Буреинская; 35 — Амуро-Зейская.

Относительно небольшие по амплитуде (не более 1500–2000 м) новейшие тектонические движения привели к образованию на рассматриваемой территории преимущественно низкогорного и среднегорного рельефа со средними абсолютными высотами 1000—1500 м (рис. 4). Только отдельные горные массивы в бассейнах рек Индигирки и Колымы, в хребтах Черского и Сунтар-Хаята, а также в водораздельной части Верхоянского, Ям-Алинского и Баджальского хребтов имеют высоты более 2000 м. С межгорными впадинами связано развитие равнинных пространств.

Во всех горных странах Дальнего Востока наблюдаются также сравнительно небольшие внутригорные впадины. Некоторые из них с полным основанием могут быть отнесены к денудационным. Подобные впадины после своего образования в конце неогена не испытали сколько-нибудь значительных прогибаний, а некоторые из них и вовсе оставались стабильными или испытывали даже относительные воздымания.

Вулканизм. С плиоцен — плейстоценовым временем связано образование вулканических нагорий, плато и стратовулканов на склонах Сихотэ-Алиня, в Корякском нагорье в северной части Срединного хребта Камчатки. Излияния базальтов в этих районах и образование вулканических плато произошли в условиях расчлененного горного рельефа, что доказывается изменчивостью мощности базальтов, существованием среди плато островных возвышенностей, сложенных более древними породами. Вулканические плато хотя и подверглись сильному расчленению в результате значительных поднятий в плейстоцене (на юге Сихотэ-Алиня до 1000 м), но тем не менее очень четко выражены в современном рельефе гор благодаря своей равнинности и ступенча-

---

Межгорные впадины: 1 — Адычанская; 2 — Догдинская; 3 — Дербекинская; 4 — Верхне-Уяндинская; 5 — Селенняхская; 6 — Момская; 7 — Верхне-Нерская; 8 — Оймяконская; 9 — Верхне-Юдомская; 10 — Сеймчано-Буюндинская; 11 — Верхне-Сугойская; 12 — Верхне-Коркодонская; 13 — Кедон-Омолонская; 14 — Рассохинская; 15 — Верхне-Березовская; 16 — Больше-Анюйская; 17 — Мало-Анюйская; 18 — Верхне-Кегалинская; 19 — Верхне-Пенжинская; 20 — Верхне-Олойская; 21 — Эльгытгинская; 22 — Амгуэмская; 23 — Улювеемская; 24 — Березовская; 25 — Средне-Хатырская; 26 — Верхне-Хатырская; 27 — Ачайваямская; 28 — Пылговаямская; 29 — Ветвейская; 30 — Поронайская; 31 — Сусунайская; 32 — Муравьевская; 33 — Средне-Бикинская; 34 — Маревская; 35 — Крыловская; 36 — Арсеньевская.

Хребты и горные массивы: 1 — Хараулахский; 2 — Верхоянский, 3 — Орулганский; 4 — Огоньор-Тага; 5 — Дажрджанский; 6 — Сетинджинский; 7 — Кельтерский, 8 — Сеттэ-Дабан; 9 — Кумбаринский; 10 — Сунтар-Хаята; 11 — Юдомский; 12 — Кулар; 13 — Кисилях; 14 — Делиньинский; 15 — Селенняхский; 16 — Бургат; 17 — Черского; 18 — Улахан-Чистай; 19 — Момский; 20 — Арга-Тас; 21 — Сарычева; 22 — Халканский; 23 — Тас-Хаяхтах; 24 — Окраинный; 25 — Порожный; 26 — Томмотский; 27 — Полоусный; 28 — Кюнь-Тас; 29 — Улахан-Тас; 30 — Хангас-Тас; 31 — Беренджинский; 32 — Больших Порогов; 33 — Джегдинский; 34 — Омсукчанский; 35 — Килганский; 36 — Бохапчинский; 37 — Уаза-Ина; 38 — Северо-Анюйский; 39 — Южно-Анюйский; 40 — Раучуанский; 41 — Илернейский; 42 — Чуванские горы; 43 — Курьинский; 44 — Олойский; 45 — Уш-Урэкчан; 46 — Нымыланский; 47 — Тенчаный; 48 — Искатень; 49 — Экиатапский; 50 — Амгуэмо-Куветский; 51 — Шелагский; 52 — Пекульней; 53 — Золотой; 54 — Осиновский; 55 — Чуванский; 56 — Щучий; 57 — Тополевые горы; 58 — Армапский; 59 — Хасынский; 60 — Туманский; 61 — Тайнынотский; 62 — Хейджанский; 63 — Кетандинский; 64 — Рарыткин; 65 — Центрально Корякский; 66 — Майна-Пылгинский; 67 — Ветвейский; 68 — Пылгинский; 69 — Олюторский; 70 — Пенжинский; 71 — Ваежский; 72 — Южно-Майнский; 73 — Алганский; 74 — Русские горы; 75 — Майнские Увалы; 76 — Уквушвуйпен; 77 — Срединный Камчатский; 78 — Кумроч; 79 — Валагинский; 80 — Ганальские Востряки; 81 — Восточно-Сахалинский; 82 — Западно-Сахалинский; 83 — Южно-Камышевый; 84 — Сихотэ-Алинь; 85 — Облачная; 86 — Ко; 87 — Тардоки-Яни; 88 — Чаятын; 89 — Мевачан; 90 — Магу; 91 — Ям-Алинь; 92 — Дуссе-Алинь; 93 — Буреинский, 94 — Баджальский; 95 — Малый Хинган; 96 — Эзоп; 97 — Джагды; 98 — Тукурингра; 99 — Джугджур; 100 — Прибрежный

тости склонов. Образование наиболее значительных вулканических плато обыкновенно связывается с ареальными извержениями по крупным разломам.

Огромную роль, особенно на Камчатке и Курильских островах, играли извержения центрального типа, вызвавшие образование стратовулканов, экструзивных куполов, лавовых покровов и потоков. На Курильских островах, представляющих собой вершины огромной горной цепи, поднимающейся над Курило-Камчатской впадиной на 11 700 м, расположено 85 вулканов, из которых 39 действующие. На о. Атласова находится самый крупный вулкан островов — Алаид высотой 2239 м. В восточном вулканическом районе Камчатки расположено 80 вулканов, из которых 28 действующие.

К раннеплейстоценовому времени, по-видимому, относится образование небольших сильно разрушенных вулканов вдоль западного склона Сихотэ-Алиня (Бараиовский и др.). Значительно моложе вулканы в бассейне р. Бол. Анюй и в долине р. Индигирки, лавы которых перекрывают пойменный аллювий.

На западном побережье Сахалина районом проявления неоген-четвертичного вулканизма является п-ов Ламанон. Здесь расположено небольшое вулканическое плато, с несколькими экструзивными куполами высотой до 1000 м.

С проявлением вулканизма связано образование мощных толщ, вулканогенных пород, формировавшихся в литоральных и аэральных условиях (Курило-Камчатско-Олюторский регион).

Плейстоценовое оледенение. Существенное влияние на геоморфологический облик главным образом северной части описываемой территории оказало плейстоценовое оледенение. Наиболее благоприятные для оледенения условия существовали на протяжении всего плейстоцена и голоцена в Верхоянском хребте (особенно на его западном склоне), в системе хребтов Черского, в Корякском нагорье, на отдельных горных массивах Охотско-Колымского водораздела, в Срединном хребте и в прибрежных районах Восточной Камчатки. В этих же горных районах и в настоящее время существуют небольшие очаги современного оледенения: хр. Сунтар-Хаята, Буордахский массив и хр. Черского, гора Ледяная (Корякское нагорье), ряд вершин на севере Срединного хребта, Ключевская группа вулканов и Кроноцкий полуостров (Камчатка). Большая часть современных ледников расположена вблизи побережья Тихого океана, что объясняется низким расположением в этих районах снеговой линии. Если вблизи Берингова моря в Корякском нагорье она лежит на высоте 500—600 м, то в западном направлении постепенно повышается и на хр. Орулган уже расположена на высоте 1800 м.

Большинство исследователей сходятся во мнении о развитии в плейстоцене только горного оледенения, приобретшего в наиболее приподнятых районах в максимальные стадии полупокровный характер (ледниковые шапки с возвышающимися над ними неоледенелыми вершинами).

Наибольшее количество данных имеется о типе и масштабах позднеплейстоценовых оледенений (стадий). По распространению троговых долин, холмисто-моренных ландшафтов, конечных морен, каров и цирков можно уверенно говорить об огромном горном оледенении Северо-Востока. Долинные ледники в бассейнах рек Колымы, Индигирки и других достигали в длину многих десятков километров, однако внутри горных стран нигде не выходили в пределы межгорных впадин. Иные условия существовали у западных предгорий Верхоянского хребта, ха-

рактеризовавшихся особенно мощным оледенением, где долинные ледники не только выходили с гор, но и в некоторых участках достигали долины Лены и, сливаясь, образовывали огромные предгорные ледники типа Маляспин. Наличие затопленных ледниковых аккумулятивных форм на мелководье Берингова моря у берегов Чукотки, Корякского нагорья и Восточной Камчатки, а также фиордовый тип побережья позволяют предположить, что в этих районах долинные ледники спускались с гор в море на довольно значительное расстояние.

В горных районах юга Дальнего Востока (хребты Ям-Алинь, Баджальский и др.) масштабы позднеплейстоценового оледенения были значительно меньшими. Долинные ледники в длину не превышали 20—30 км. Широкое развитие получило каровое оледенение. Еще слабее проявилось оледенение на Сахалине, Сихотэ-Алине и Курильских островах, где можно говорить о следах небольших оледенений долинного и карового, приуроченных к наиболее приподнятым горным массивам (гора Тардоки-Яни на Сихотэ-Алине, гора Лопатина на Сахалине и др.).

Отмеченное закономерное уменьшение масштабов позднеплейстоценового оледенения к югу объясняется повышением в этом направлении абсолютной высоты нижней границы криосферы. По предположению Ю. Ф. Чемекова, средняя абсолютная высота снеговой линии во время позднеплейстоценового оледенения на севере Камчатки была 500—600 м, в хребтах Приамурья — 1400 м, на Сихотэ-Алине — 1500 м. Следы позднеплейстоценовых оледенений отличаются исключительной свежестью и прекрасной выраженностью в современном рельефе. При отступании ледников последнего оледенения образовалась система стадиальных конечных морен, количество которых различно для отдельных районов (две-три в горах юга Дальнего Востока, до восьми на Камчатке). Максимальным из двух позднеплейстоценовых оледенений, по мнению большинства исследователей, было первое, вторым были охвачены только наиболее приподнятые районы.

Среднеплейстоценовое оледенение развивалось, по-видимому, в условиях слабо расчлененного рельефа с широким распространением элементов древнего выравненного рельефа, и поэтому во многих районах могло иметь скандинавский тип. Судя по распространению краевых ледниковых образований, масштабы этого оледенения мало отличаются от позднеплейстоценового. Границы максимального распространения этих двух оледенений в большинстве случаев почти совпадают. В некоторых районах максимальным было средиеплейстоценовое оледенение. К ним относятся отдельные участки Западного Приверхоянья, Западной Камчатки, Сахалина, где на большом удалении от гор наблюдаются выположенные, сильно размытые фрагменты краевых ледниковых образований или флювиогляциальные и моренные накопления.

Вопрос о развитии раннеплейстоценового оледенения остается открытым, так как убедительных данных для его решения еще нет.

Современное горное оледенение, о котором говорилось выше, в большинстве случаев рассматривается как реликт позднеплейстоценового.

Развитие речной сети. Речная сеть Дальнего Востока относится к бассейнам Северного Ледовитого и Тихого океанов. Первый является основным базисом эрозии рек Яны, Индигирки, Колымы, второй — Анадыря, Пенжины, Уды, Амура и др. Реки, впадающие в Восточно-Сибирское море, имеют огромные широко развитые бассейны. К морю их долины расширяются и переходят в обширные озерно-аллювиальные равнины, а на шельфе продолжаются затопленными долинами. История

формирования этих бассейнов очень тесно связана с развитием Северного Ледовитого океана. Большинство рек, относящихся к бассейну Тихого океана, имеет слабо развитые бассейны, глубоко врезанные долины. Такое различие в характере бассейнов определяет положение линии главного водораздела, сдвинутого к северному побережью Охотского моря. Подобная картина в миниатюре наблюдается в южной части Сихотэ-Алиня, где линия главного водораздела проходит вблизи побережья Японского моря. Здесь на протяжении плейстоцена реки восточного склона наступают своими верховьями на бассейны рек уссурийского склона, в результате чего происходит постепенное смещение линии главного водораздела к западу. Молодость рек, относящихся к бассейну Тихого океана, по-видимому, объясняется молодостью окраинных морей, мелководья которых в своих современных очертаниях возникли в послеледниковое время в результате региональных опусканий и голоценовой трансгрессии.

Развитие речной сети характеризуется сложной историей. Современные речные бассейны в большинстве случаев возникли в результате объединения разновозрастных участков. Элементы древней речной сети в современном рельефе обыкновенно сохранились слабо в виде фрагментов высоких террас. На конфигурацию древней речной сети большое влияние оказывали простирания палеозойских и мезозойских складчатых структур. Наиболее древними являются продольные участки долин, несущие более полный комплекс террас. Поперечные участки, в большинстве случаев секущие древние складчатые структуры вкрест простирания, значительно моложе. К востоку от Верхоянского хребта намечается долина пра-Яны, которую можно составить из участков рек Томпо, Деминья, Дербеке. Фрагменты древней речной долины, существовавшей с конца олигоцена до середины миоцена, известны в пределах Яно-Оймяконского нагорья. Продольные участки Индигирки, существовавшие уже в плиоцене, имеют до 10—13 террас высотой до 500 м, поперечные ее участки лишены высоких террас. Сходное строение имеет долина р. Колымы, на продольных участках которой наблюдается до 13 террас высотой до 450 м. На Сихотэ-Алине в плиоцене преобладали продольные долины, что подтверждается распространением V плиоценовой террасы в полосе мелкогорья западного склона. Значительно реже встречаются поперечные долины этого же возраста (Верхне-Бикинская и Олонская впадины и др.). На Сахалине продольные участки долин имеют значительно более сложное геоморфологическое строение с развитием террас до 100 м относительной высоты.

На формирование речной сети Камчатки, Сихотэ-Алиня и некоторых других районов существенное влияние оказали вулканические явления, выразившиеся в подпруживании рек и образовании озер или полной перестройке бассейнов (р. Авача на Камчатке).

Можно предполагать локальную перестройку речной сети во время горно-долинного оледенения, что особенно характерно для многих районов Северо-Востока, в которых обнаружены перекрытые верхнечетвертичными моренами древнеаллювиальные отложения (бассейн р. Берелех).

Приведенные выше материалы свидетельствуют о молодости речной сети, приобретшей современный облик в плейстоцене и голоцене. Крупные речные бассейны возникли путем длительной перестройки гидрографической сети, обусловленной главным образом новейшими тектоническими движениями.

Плейстоценовые трансгрессии. В результате изучения морских по-

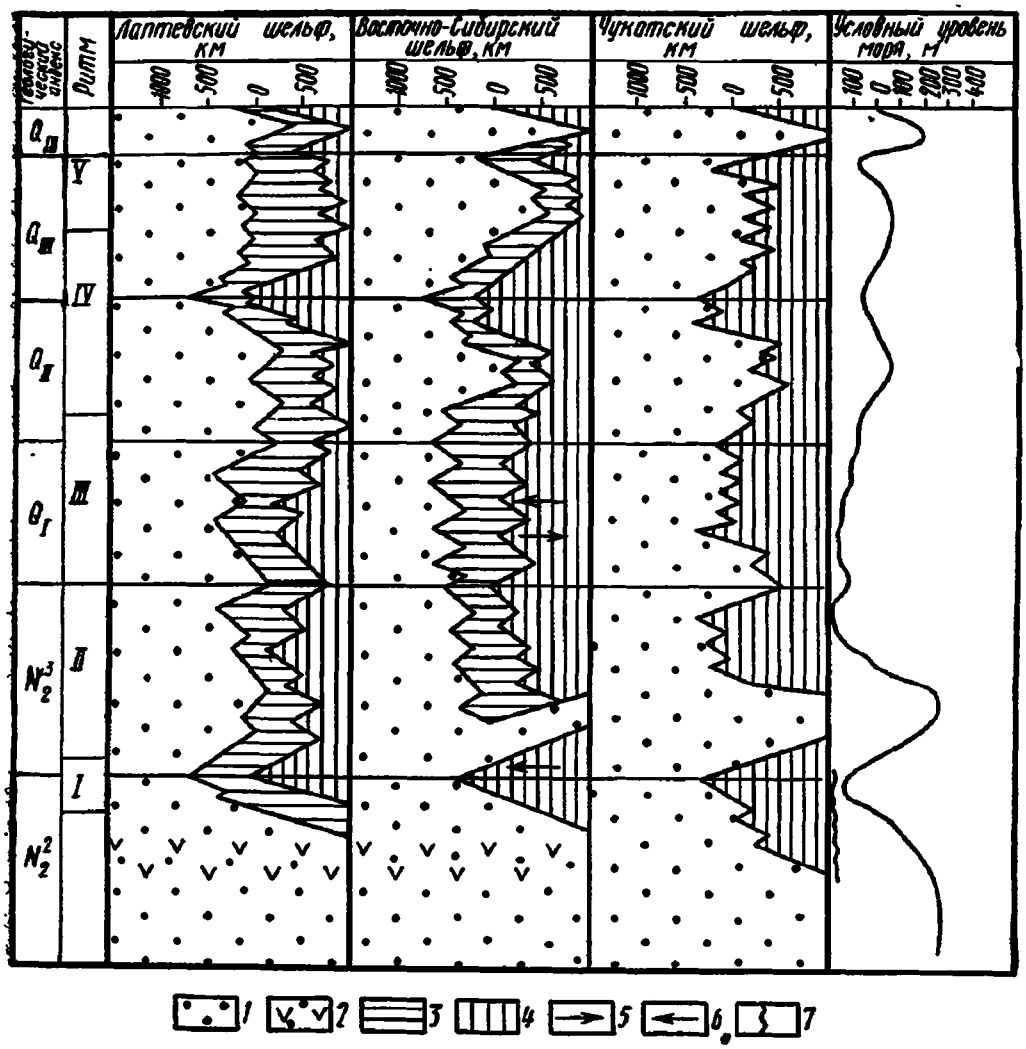


Рис. 5. Основные этапы истории Арктического шельфа и палеошельфа в позднем кайнозое (по Н. Г. Загорской, Ю. Н. Кулакову и др.):
1 — суша, преимущественная денудация; 2 — суша, местами осадконакопление; 3 — пресноводные бассейны; 4 — шельфовые моря; 5 — миграция морской фауны из Атлантики; 6 — миграция морской фауны из Тихого океана; 7 — эпохи корообразования

бережий получены многочисленные факты, указывающие на их формирование под влиянием неоднократных колебаний уровня Мирового океана. Эти колебания в совокупности с вертикальными движениями земной коры приводили к неоднократному изменению конфигурации и площади морских бассейнов. На протяжении всего плейстоцена и голоцена шельфы моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей периодически в значительной своей части осушались (рис. 5). В периоды регрессий денудационные процессы охватывали всю современную сушу и внутреннюю часть континентального шельфа в полосе шириной до нескольких сотен километров. Во время трансгрессий моря, происходивших в конце плиоцена — раннем плейстоцене, на рубеже среднего и позднего плейстоцена, в конце позднего плейстоцена и во второй половине голоцена, на всей площади Арктического шельфа осуществлялось осадконакопление в морских и пресноводных бассейнах. Наиболее широкое распространение пресноводные бассейны имели в

пределах современного моря Лаптевых. В раннем и частично в среднем плейстоцене пресноводные бассейны располагались и на месте Яно-Колымской низменности. Непрерывное осадконакопление в морских условиях с конца позднего плиоцена осуществлялось лишь во фронтальной части Восточно-Сибирского и Чукотского шельфов.

В условиях большой тектонической активности материка и островных дуг древние береговые линии нередко оказывались деформированными — приподнятыми или опущенными новейшими тектоническими движениями. На восточном побережье Камчатки и на Курильских островах описаны морские террасы четвертичного возраста, расположенные на высоте в несколько сот метров. С другой стороны, у западного побережья Камчатки и у берегов Сахалина древние береговые линии оказались затопленными, лежащими на глубине в несколько сот метров. Имеются также многочисленные примеры менее значительных деформаций, характерной особенностью которых является быстрая смена как знака, так и величины новейших движений на соседних участках побережий. На западном побережье Охотского и Японского морей морские террасы встречаются редко и поднимаются над уровнем моря не выше 30—40 м. Вместе с тем на некоторых участках побережий огромные площади занимают низменные лайденные равнины, поднимающиеся над морем на 2—4 м. Их формирование происходит в настоящее время в зоне приливно-отливных явлений. Вне этой зоны наблюдаются также низкие очень молодые морские террасы высотой в несколько метров, образовавшиеся на протяжении последних тысяч лет в результате регрессии моря, обусловленной в большинстве случаев поднятием отдельных участков побережья. На основании археологических данных, возраст подобных террас в заливе Петра Великого у пос. Посьет определяется вторым тысячелетием до н. э.

Анализ всех данных о древних береговых линиях свидетельствует о том, что на протяжении плейстоцена происходили неоднократные колебания уровня окраинных морей Тихого океана, вызывавшие трансгрессии и регрессии моря. Вопрос о синхронности и асинхронности трансгрессий и оледенений является дискуссионным. Незначительное развитие морских террас на побережье материка объясняется послеледниковой трансгрессией, вызвавшей затопление древних береговых линий, образование заливов и бухт (риасовый тип берегов) и др. Об этом свидетельствует очень молодой послеледниковый возраст мелководной северной части Охотского моря. Такой же возраст имеют Шантарские острова, на побережье которых отсутствуют высокие морские террасы и внутри островов встречаются реликты древнего рельефа, образование которого относится ко времени, когда на месте Шантарского моря существовала суша. Совсем недавно произошло последнее отделение Сахалина от материка. Это доказывается залеганием на дне пролива Невельского затопленных молодых торфяников.

Колебаниями уровня Мирового океана объясняется неоднократное нарушение и восстановление связей между Азиатским и Северо-Американским континентами. По мнению А. В. Шера (1969), на протяжении плейстоцена можно наметить не менее семи этапов, в которые огромные пространства шельфа являлись сушей (Полярная Берингия), что должно было оказывать существенное влияние на климатические условия в северной части Тихого океана. Берега окраинных морей Тихого океана преимущественно скалистые, абразионные. Аккумулятивные низменные берега на большом протяжении развиты только в устьях Анадыря, Пенжины, Гижиги, на западном побережье Камчатки и на севере Сахалина. Исключительной равнинностью отличаются берега

Восточно-Сибирского моря. Там, где побережье сложено мерзлыми толщами с линзами льда, образуются термоабразионные уступы, быстро отступающие внутрь материка. В ряде районов Тихоокеанского побережья (зал. Петра Великого, побережье Шантарского моря с заливами Тугурским, Ульбанским и др.) наблюдаются риасовые берега. Фиордовые берега развиты на Чукотке, на побережьях Корякского нагорья и Северной Камчатке. Конфигурация береговой линии обычно зависит от особенностей геологического строения. Как правило, полуострова и мысы образованы породами, наиболее устойчивыми к абразии. Так, например, верхнемеловыми гранитами сложены мысы Александры в Охотском море, Анива на юге Сахалина и др.

По типу современных движений берега подразделяются на погружающиеся, поднимающиеся и относительно стабильные. К погружающимся берегам относятся северная и восточная части Чукотского полуострова, отдельные участки побережья Камчатки и Северного Сахалина. К поднимающимся берегам принадлежат некоторые участки побережья Корякского нагорья, Восточной Камчатки, Южного Сахалина, Приморья и Курильских островов. К относительно стабильным принадлежат берега северо-восточной Камчатки, Западного Сахалина и др. Развитие риасовых и фиордовых берегов служит ярким доказательством проявления на побережьях окраинных морей Тихого океана молодой послеледниковой трансгрессии.

Четвертичные отложения и условия их формирования. В новейший этап одновременно со становлением рельефа происходило образование и накопление четвертичных отложений. Преимущественным развитием пользуются континентальные осадки (аллювиальные, озерные, озерно-аллювиальные, ледниковые и водно-ледниковые), выполняющие межгорные котловины, долины рек и обширные равнины. В горах особенно широко развиты отложения склонового ряда. На побережье континентальные отложения сменяются морскими, ледниково-морскими и аллювиально-морскими (дельтовыми) осадками.

Склоновые отложения развиты почти повсеместно. Это определяется тем, что около 80% площади территории Дальнего Востока занимают горы. Выделяется несколько парагенетических разностей склоновых отложений: коллювиальные, делювиально-коллювиальные и делювиально-солифлюкционные. В инженерно-геологическом плане им близки элювиальные и элювиально-солифлюкционные отложения водораздельных пространств.

Характерными особенностями склоновых отложений являются их малая мощность (за исключением конусов осыпания), большая динамичность и значительная изменчивость гранулометрического состава и свойств, зависящая от морфологии склонов, литологии подстилающих пород и степени их выветрелости, климатической зональности.

На севере в зоне тундры (Охотско-Чукотский, Восточно-Чукотский, Омолонский, Момский и Верхоянский регионы) широко развиты коллювиальные отложения, образованию которых способствуют энергично протекающие процессы физического и морозного выветривания, отсутствие на склонах хорошо развитого почвенного покрова и растительности. Доминируют щебнистые и глыбовые осыпи, покрывающие склоны крутизной 20—30° и нередко опускающиеся от вершин до подножия склонов, а местами — прямо в речные долины. При крутизне свыше 30° у подножий склонов образуются валы и конусы осыпания, мощность осадков в которых достигает 20—40 м. На плоских водоразделах и пологих склонах преобладает дресвяно-щебнистый (60—80%) элюводелювий с глыбами (5—10%) и супесчаным заполнителем (20%).

Размер и форма обломков взаимосвязаны с подстилающими породами. Так, на эффузивах среднего и основного состава формируются крупноглыбовые и щебнистые развалы призматической, параллелепипедальной, реже плитчатой формы. На кислых эффузивах развит в основном щебень размером 2—5 см (40—60%), тонкоплитчатой, часто остроугольной формы с примесью глыб (5—20%) и суглинистым заполнителем (до 20—50%). На интрузивных породах элюво-делювий дресвяно-глыбовый, реже щебнисто-глыбовый с супесчаным и песчаным заполнителем (30—50%). Размер глыб от 0,1—0,8 до 1—3 м.

Все описанные разности пород скованы мерзлотой и имеют высокую льдистость (в среднем 25—38%). Физико-механические свойства рассматриваемых образований зависят от глубины залегания, степени льдистости, гранулометрического состава и литологии пород.

В подзоне лесотундры и северной тайги (юг Верхоянского региона) широко развиты осыпно-солифлюкционные, делювиально-солифлюкционные и элюво-делювиальные отложения, покрывающие склоны прерывистым чехлом мощностью от 1—2 до 5—10 м. Состав отложений отличается значительной изменчивостью. Содержание фракций более 10 мм колеблется от 8 до 53%, в среднем 32%; заполнитель — супесчаный, иногда суглинистый (около 50%). Отложения скованы мерзлотой. Суглинки и супеси в зоне сезонного протаивания имеют пластичную и текучую консистенцию, в мерзлой зоне — твердые, неравномерно льдистые (от 10 до 58%). Исследованиями установлено, что многочисленные ледяные прослои мощностью 10 мм придают грунтам неравномерную текстуру и ослабляют их прочностные свойства. Прочность пород в целом увеличивается с понижением температуры мерзлого грунта.

Для склонов среднегорных и низкогорных хребтов (Нижне-Амурский, Сихотэ-Алинский регионы), расположенных в подзонах средней и южной тайги, наиболее характерно развитие делювиально-коллювиальных отложений. Мощность отложений увеличивается вниз по склону и может достигать у подножия нескольких метров. Вещественный состав делюво-коллювия тесно взаимосвязан с климатом и литологией подстилающих пород. На песчаниках образуется щебень размером до 20—30 см, на конгломератах — до 15—30 см, на алевролитах — до 10—15 см. На крупнозернистых гранитах развита дресва с суглинком. Объем щебня и дресвы увеличивается с глубиной от 20 до 70%. Заполнитель на юге в зоне хвойно-широколиственных лесов, где интенсивно развиты процессы химического выветривания, чаще монтмориллонитово-гидрослюдистый тяжелосуглинистый, на базальтах — глинистый. В зоне средней тайги преобладают гидрослюдистые средние суглинки, на базальтах — тяжелые суглинки гидрослюдистого состава. На пологих склонах и водоразделах суглинки нередко образуют самостоятельный горизонт мощностью до 0,5 м и только на поверхности базальтовых плато мощность суглинистых горизонтов достигает иногда 1—2 м.

Для гранулометрического состава мелкозема характерно высокое содержание песчаной фракции (25—55%) и низкое количество фракций менее 0,001 мм (до 10—15%), в районе отрогов хр. Ям-Алинь — до 1—7%. Пластичность глинистых пород обычно взаимосвязана с их минералогическим и гранулометрическим составом и колеблется от 6 до 22. С изменением климата изменяется естественная влажность. Так, на юге Сихотэ-Алиня влажность поверхностных горизонтов не превышает 10—15%, консистенция твердая и полутвердая. На северных его склонах, в Буреинском и Нижне-Амурском регионах, влаж-

ность пород возрастает до 20—42%, консистенция изменяется на тугопластичную и пластичную, отмечается оглеение. Объемная масса щебнистых горизонтов в среднем 1,95 г/см^3, пористость уменьшается с глубиной от 48 до 29% (коэффициент пористости соответственно 0,91 и 0,41). Осыпи встречаются лишь на сравнительно небольших участках на высотах свыше 1500 м. Здесь наблюдаются чаще древние полузакрепленные и закрепленные осыпи, испытывающие очень медленное движение вниз по склонам. В коллювиальных шлейфах отмечается чередование глыбово-щебнистых горизонтов с суглинистыми или щебнисто-суглинистыми, что указывает на изменение условий осадконакопления. Образование грубообломочных горизонтов, вероятно, происходило в суровых климатических условиях ледниковья; суглинистых и щебнисто-суглинистых горизонтов — в более благоприятных условиях межледниковий. Обычное развитие в южных районах Дальнего Востока двух глыбовых горизонтов, разделенных суглинками, позволяет предположить в этих районах проявление двух эпох похолодания в среднем и позднем плейстоцене.

У подножий увалов по периферии впадин, на пологих склонах гор (до 10—15°) развиты делювиальные (юг Дальнего Востока) и делювиально-солифлюкционные (север Дальнего Востока) отложения мощностью до 3—5 м, реже 10 м, часто образующие предгорные шлейфы. Представлены они супесями и суглинками с включением дресвы, щебня и глыб. Характерной особенностью их является высокое содержание пылеватых и глинистых фракций, отсутствие четкого уменьшения пористости с глубиной, невысокое сцепление.

Аллювиальные отложения на Дальнем Востоке наибольшего развития достигают в долинах крупных рек: Амура, Яны, Колымы, Индигирки и др. Аллювием полностью сложены низкие аккумулятивные террасы рек. Остальные, более высокие террасы обыкновенно имеют аллювиальный покров мощностью в несколько метров, лежащий на цоколе из дочетвертичных пород. Речные террасы очень изменчивы по количеству, высоте и занимаемой площади, однако в большинстве крупных речных бассейнов они могут быть сгруппированы в четыре комплекса: пойменный, низкий, средний и высокий.

Большинство исследователей считают, что в процессах накопления аллювиальных осадков тектонический фактор является определяющим, так как тектонические движения изменяют уклоны рек. Второе по значению место принадлежит климату, влияющему на водность рек и их режим, на интенсивность процессов выветривания и склоновой денудации. Эти положения подтверждаются и для рек Дальнего Востока. Так, в пределах расширений долин, приуроченных к отрицательным структурам, мощность песчаного руслового аллювия достигает 20—70 м, суглинисто-супесчаного пойменного — 2—4,5 м, а развитие его идет по конститутивному типу. При пересечении положительных структур речные долины резко сужаются, состав аллювия грубест, а мощность его уменьшается до 10 м, причем пойменная фация почти полностью редуцируется. Такая взаимосвязь русловых процессов с тектоническим строением нарушает общую картину закономерного уменьшения в составе аллювия крупности фракций вниз по течению.

Важное значение для формирования аллювия имеет и характер рельефа горного обрамления. Так, например, притоки Амура, стекающие с высокогорных хребтов Буреинско-Баджальской системы, отличаются большими уклонами и высокими скоростями течений. Поэтому в составе аллювия этих рек преобладают галечники. Реки, берущие начало на западных склонах низкогорных хребтов Сихотэ-Алиня, за ред-

ким исключением, имеют выработанные широкие долины, а в составе их аллювия уже доминируют пески.

Определить характер влияния климата на формирование аллювия значительно труднее. Тем не менее некоторые закономерности можно отметить. Прежде всего муссонный климат юга Дальнего Востока определяет основные гидрологические особенности режима рек — непостоянство расходов твердого и жидкого стока в летнее и осенне-летнее время, вследствие чего аллювий Амура и большинства его притоков является очень сложным полифациальным и полифракционным образованием. На структуру и состав аллювия оказывают влияние и суровые климатические условия севера. Своеобразием аллювия северных территорий является его постоянное мерзлое состояние и значительное содержание пылеватых и глинистых фракций, что связано с солифлюкционными процессами, увеличивающими поступление в реки мелкозема.

Для аллювия характерна частая фациальная смена литологических разностей как по площади, так и в разрезе. Реже встречается типичный аллювиальный разрез, верхняя часть которого сложена супесями, песками и суглинками с прослоями илов (пойменная фация), а нижняя — гравийно-галечниковым материалом. Наблюдается фациальная изменчивость аллювия крупных рек от бортов впадин к центру, что связано со сменой характера русловых процессов.

В пределах Амуро-Зейской, Средне-Амурской, Удыль-Кизинской и некоторых других депрессий аллювий характеризуется особенностями, свойственными для равнинных рек: преобладанием песков и супесей, однородным минеральным составом, четкой слоистостью.

Горный аллювий отличается преобладанием грубообломочного материала (галечники), полимиктовым составом с очень непостоянным соотношением основных породообразующих компонентов, слабой сортировкой и отсутствием четкой слоистости. Мощность его 5—10 м, в долинах крупных рек — до 20—50 м. Наиболее широким распространением пользуется плотиковая фация, образование которой происходило в момент врезания, углубления долины (инстративная фаза). Мощность ее составляет 2—5 м, иногда снижается до 1 м. В долинах высокогорных хребтов Ям-Алинь, Эзопа, Баджальского и в верховьях рек с бурным порожистым течением плотиковый аллювий представлен валунно-глыбовыми и галечно-щебнистыми отложениями. В разработанных долинах большинства горных рек преобладают галечниковые отложения, а на Северо-Востоке встречаются и глинисто-галечниковые. Наряду с несортированностью плотиковой фации ей присуще значительное содержание неокатанного материала, количество которого зависит в некоторой степени от длины и ширины долины. Так, в долинах более мелких притоков преобладает неокатанный материал, в широких протяженных долинах наряду с галечно-щебнистыми встречаются галечные и валунные. Окатанность гальки и валунов — от слабой до совершенной.

Русловая фация в средних и нижних течениях крупных рек сложена галечниками и песками. В долинах рек Хингано-Буреинского региона распространены галечники от мелких до крупных с примесью 15—30% гравия, отдельными валунами и глыбами размером 10—30 см. В долинах рек Западного Сихотэ-Алиня наряду с хорошо окатанными галечниками встречаются пески от средних до гравелистых. По данным К. В. Александрова, в долинах рек Арсеньевского региона русловые отложения имеют преимущественно гравийный и песчано-гравийный состав.

Пойменный аллювий представлен преимущественно песками, супесями, суглинками. В низовьях рек, расчленяющих хребты Туран, Хинган, Северный и Западный Сихотэ-Алинь, отроги Буреинского, в составе пойменного аллювия распространены сильно песчанистые суглинки (песка до 20—50%) с включением гравия и гальки (до 40%). Естественная влажность суглинков зависит от ландшафтной зоны. На юге, в зоне хвойно-широколиственных лесов, она колеблется в пределах 18—25%, при этом консистенция суглинков чаще тугопластичная. В зоне хвойных лесов влажность суглинков возрастает до 30—45%. Консистенция изменяется на пластичную и скрытотекучую, развивается оглеение и заболачивание. Сложение аллювиальных осадков, как правило, плотное и средней плотности.

Диагенез в аллювиальных песчаных, гравийно-галечниковых отложениях обычно прослеживается слабо, так как образование породы происходит на стадии седиментогенеза. Уплотнение с возрастом аллювия очень незначительно, что объясняется хорошей упаковкой его уже в период осадконакопления. Так, в низовьях рек Зеи и Селемджи средняя пористость мелких песков позднеплейстоценового возраста 44%, среднеплейстоценового — 40%.

Основным процессом эпигенеза является выветривание неустойчивых компонентов. Степень выветривания аллювия (песков и галечников) закономерно увеличивается от голоцена к более древним осадкам. Пески и галечники голоцена и позднего плейстоцена почти не затронуты выветриванием. В среднеплейстоценовом аллювии уже заметно выветрелы гравий и галька эффузивов и гранитов. В нижнеплейстоценовом и плиоценовом аллювии отмечается сильная степень выветривания не только гальки и гравия, но и полевошпатовой фракции песков, с чем связано увеличение глинистости заполнителя до 6%, а у более древних даже до 19%.

Озерные отложения пользуются довольно широким развитием и выполняют крупные межгорные впадины. Наиболее детально они изучены в Уссури-Ханкайской, Средне-Амурской и Нижне-Амурской впадинах. Озерные осадки, как правило, представлены тонкослоистыми глинами, накопление которых происходило в пресноводных бассейнах. В неогеновую эпоху озера охватывали значительно большую площадь; в последующие эпохи наблюдалось сокращение зеркала воды и уменьшение глубин. Периодическая миграция уровня озер проходила на фоне резких изменений климатической обстановки — от климата, близкого к субтропическому в плиоцене, к умеренному и умеренно холодному в ледниковые эпохи плейстоцена. Колебания климата и периодическое заболачивание берегов способствовали изменению реакции среды в водоемах, о чем свидетельствует смена окрасок озерных глин разного возраста. Яркие однородные кирпичные, шоколадные, коричневато-серые цвета плиоцен-нижнеплейстоценовых глин говорят о наличии окислительной или слабо восстановительной среды, что связано с аридизацией климата и сокращением объема растительной массы, поступавшей в водоем. Начиная со среднеплейстоценовой эпохи в озерах установились восстановительные условия среды и осадки приобрели серую и зеленовато-серую окраску.

Периодические изменения условий формирования озерных глин не могли не сказаться на их составе и свойствах. Изменение климатических условий в первую очередь отразилось на направленности геохимических процессов, что привело к формированию разных комплексов первичных минералов. Существование длительного периода с лесостепными ландшафтами в плиоцен-нижнеплейстоценовое время обусловило

формирование минералов монтмориллонитовой группы с примесью гидрослюд, а умеренно холодный климат в средне-позднеплейстоценовые эпохи привел к заметному преобладанию гидрослюд в составе озерных глин. Более холодный климат северной части Средне-Амурской и Удыль-Кизинской впадин способствовал образованию наряду с гидро-

Таблица 1

Изменение средних значений показателей литификации озерных глин с глубиной в Уссури-Ханкайской впадине

(по данным 350 образцов)

Возраст	Глубина слоя, м	Показатель уплотнения (по В. А. Приклонскому)	Степень сжатия	Показатель дегидратированности (по Ф. В. Котлову)	Показатель консистенции (по Ф. В. Котлову)
N_1	0—2	0,75	14,5	1,55	0,3
	2—8	0,67	22	1,65	0,05
	ниже 8	1,2	31	2,7	0,1
N_2	0—1	0,91	29	1,6	0,3
	1—2	0,71	20	1,7	0,1
	2—5	0,97	21	1,8	0
	ниже 5	1	32	2,7	0
Q_I^1	0—1	0,66	25	1,7	0,2
	1—2	0,83	29	1,75	0,1
	2—4	0,96	30	2,01	0,06
	4—6	1,04	33	2,1	0
	ниже 6	1,06	39	2,9	0
Q_I^2	0—2	0,73	16	1,7	0,4
	1—7	0,82	20	1,6	0,15
	ниже 7	0,9	28	2	0,1
Q_{II}	2—3	0,51	14	1,55	0,3
	ниже 3	0,7	22	1,55	0,4
Q_{III}	до 10	0,6	15	1,31	0,5
Q_{IV}	до 10	0,5	11	1,05	0,6

слюдами и каолинита. В современное время изменение минерального состава осадков подчиняется природной зональности. В зоне лесостепи (Уссури-Ханкайская впадина) минералогический состав глин гидрослюдисто-монтмориллонитовый, в лесной зоне — гидрослюдистый с примесью каолинита (Удыль-Кизинская впадина). Изменение условий формирования приводило к изменению гранулометрического состава озерных глин. Нижнеплейстоценовые глины — высокодисперсные, так как их осадконакопление происходило в относительно глубоководных бассейнах в эпоху слабых эпейрогенических движений. От нижнеплейстоценовых глин к современным наблюдается уменьшение дисперсности, связанное с сокращением размера озер и уменьшением их глубин.

Существенную роль в формировании инженерно-геологических свойств озерных глин сыграло диагенетическое уплотнение пород и их дегидратация. Основным фактором при этом являлись природные нагрузки, второе место принадлежало усадке. По степени литификации озерные глины можно разделить на три группы (Цеквава, 1973). К первой группе относятся палеоген-миоценовые аргиллитоподобные с сильной степенью литификации; ко второй — сланцеватые глины плиоцен-нижнеплейстоценового возраста со средней степенью литификации; к третьей — глины средне-позднеплейстоценового и голоценового возраста со слабой степенью литификации (табл. 1).

Следует отметить, что степень литификации озерных глин в пределах единого стратиграфического горизонта зависит также от непрерывности процесса осадконакопления, так как при перерывах глины подвергались размыву и, следовательно, разгрузке, что в свою очередь приводило к уменьшению их плотности и механической прочности. Не менее важным фактором в изменении свойств пород является выветривание, приводящее к разуплотнению пород, повышению естественной влажности и уменьшению механической прочности. У нижнеплейстоценовых глин мощность зоны выветривания колеблется от 4 до 7 м, у среднеплейстоценовых — 2—3 м, а у верхнеплейстоценовых и голоценовых практически отсутствует.

Озерно-аллювиальные отложения широко развиты в пределах крупных впадин юга Дальнего Востока (бассейн Амура) и низменных равнин севера (бассейны рек Яны, Колымы, Анадыря).

В озерно-аллювиальных толщах юга Дальнего Востока преобладают отложения фаций мелководных приречных озер и заливов, представленные опесчаненными суглинками и глинами с монотонной горизонтальной или пологоволнистой слоистостью. Подчиненное значение имеют супеси, реже пески и гравий дельтовых фаций с волнистой и косоволнистой текстурой. К центру впадин озерно-аллювиальные осадки сменяются типично озерными пылеватыми глинами с горизонтальной слоистостью. Мощность отложений от 3 до 20 м. Обычно толща представляет частое переслаивание и взаимозамещение суглинков различного состава (легких, средних, тяжелых, пылеватых или в разной степени опесчаненных), глин, супесей, торфа. В зависимости от фациальной принадлежности содержание глинистой фракции варьирует от 9 до 49%. Минимальные значения приурочены к дельтовым фациям, максимальные — к озерным. Количество песчаной фракции соответственно изменяется от 50—60 до 5—10%.

Второй характерной особенностью осадконакопления озерно-аллювиальных отложений являются восстановительные условия среды. Этому, очевидно, способствовало интенсивное заболачивание берегов мелководных водоемов в условиях подвижности их границ. Восстановительные условия привели к сильному оглеению отложений, а заболачивание — к высокому содержанию в них органического вещества (до 6—14%).

Неоднородность состава, специфика условий формирования определяют процессы диагенеза осадков. Мелководные приречные озера, заливы и дельты быстро заполняются осадками, пересыхают и подвергаются развитию процессов усадки, что способствует уменьшению пластичности глинистых осадков в результате необратимого свертывания коллоидов. Этим явлением, вероятно, и объясняется частое несоответствие числа пластичности и гранулометрического состава. Усадка приводит к более высокой степени уплотнения озерно-аллювиальных глин в сравнении с озерными. Основным процессом эпигенеза являет-

ся дегидратация. Уплотнение под действием природных нагрузок и с возрастом проявляется значительно слабее, чем у озерных осадков (табл. 2).

Таблица 2

Физико-механические свойства озерно-аллювиальных глинистых отложений

Возраст	Естественная влажность, %	Объемная масса при естественной влажности, г/см³	Пористость, %	Коэффициент пористости	Показатель консистенции
K_2—P	20	2,05	30	0,42	—
P—N_1	21	2,01	35	0,54	—
N_2—Q_I	23	1,98	40	0,68	0,01
Q_{II}	24	1,92	41	0,72	0,4
Q_{III}	28	1,88	44	0,8	0,5

Ледниковые отложения наиболее широко развиты в горных районах Северо-Востока. Крупные поля ледниковых отложений выполняют Анадырскую и Ваикаремскую низменности. В южных районах Дальнего Востока, на Камчатке и Сахалине моренные отложения встречаются локально. Мощность морен очень изменчива, от 5—10 до 60—160 м (конечно-моренные валы). Горно-долинный характер оледенения во многом определяет состав и физико-механические свойства ледниковых отложений, а также закономерное изменение их от верховьев троговых долин к устьям и от бортов к центрам впадин.

Так, в горных районах боковые и конечные морены, как правило, имеют грубый механический состав, будучи представлены скоплениями крупных валунов и глыб с примесью мелкозема. В расширениях речных долин в трогах, а также на плоских участках водоразделов распространены несортированные валунно-гравийно-галечниковые отложения с супесью, суглинками и песками. Смена литологических разностей в разрезе и на площади незакономерна. Содержание грубообломочных фракций колеблется в очень больших пределах (от 10 до 60%). В их составе доминируют галечники и мелкие валуны от 5 до 20 см, но встречаются и крупные глыбы до 1,5—5 м. Фракция мелкого песка и крупной пыли (0,25—0,01 мм) составляет 50—60% объема породы. Количество глинистой фракции не превышает 18%. А в прибрежных низменностях доминируют валунные суглинки и супеси с редкими прослоями песков. Гранулометрический состав морены, изученной в Нижне-Анадырской впадине (Гасаиов, 1969), говорит о невысоком (от 1 до 19%, в среднем 10%) содержании глинистых частиц. Количество пылеватой фракции колеблется от 20 до 50% (в среднем 40%), песчаной — от 12 до 80% (30%), гравия — от 3 до 35% (12%), гальки и валунов — от 1,5 до 18% (3%). Различный литологический состав, разная степень уплотнения моренных отложений приводят и к большим колебаниям объемной массы, от 1,25 до 2,01 г/см³ (Охотско-Чукотский регион). Средние значения ее для валунных суглинков 1,77 г/см³, для супесей — 1,95 г/см³ и для глин — 2 г/см³ (Анадырский регион); пористость суглинков 48%, супесей — 41%, глин — 39%, валунно-галечниковых отложений — 24%.

Водно-ледниковые отложения распространены в тех же районах, что и ледниковые, образуя вместе с моренами полосы

краевых образований в Западном Приверхоянье, в Анадырской низменности и долинные зандры в бассейнах крупных рек. Среди водно-ледниковых отложений выделяются фации галечников интенсивных приледниковых потоков и фация песков внеледниковых русловых потоков. Вблизи моренных гряд они представлены грубослоистыми галечниками (50—70%) с включениями валунов, с заполнителем из разнозернистого песка или супеси, переслаивающимися с хорошо промытыми гравийными, крупно- и мелкогалечными прослоями и песчаными линзами мощностью от 0,1 до 2 м. С удалением от моренных гряд на 0,5—1 км галечники сменяются разнозернистыми косослоистыми песками с примесью гальки и гравия (до 25%). Сортировка песков возрастает по мере удаления от моренных образований. Гравийно-галечниковые отложения, как правило, представлены переслаиванием хорошо промытых гравийников с мелкогалечными прослоями и линзами песков. Количество валунов не превышает 5—10%, гравия около 30%, гальки — 35%, глинистой фракции не более 5—7% (Восточно-Чукотский регион). Пески полимиктовые от мелких до гравелистых, чаще средней крупности и крупные, в Нижне-Анадырской впадине — мелкие. Плотность водно-ледниковых отложений колеблется в пределах 2,57—2,77 г/см^3, в среднем 2,65 г/см^3 у песков и 2,69 г/см^3 у супесей. Наблюдаются большие колебания значений объемной массы и пористости. Максимальные значения пористости обычно характерны для поверхностной толщи в краевых зонах, минимальные — для предгорной части. В целом уплотнение водно-ледниковых отложений невысокое: 45,5% — для супесей и 48,7% — для песков (Анадырский регион). Водно-ледниковые отложения скованы мерзлотой, но льдистость их обычно невелика и достигает 13, реже 40%.

Озерно-ледниковые отложения занимают небольшие пространства и приурочены обычно к пониженным участкам рельефа. Они представлены ленточными глинами и горизонтально-слоистыми супесями. По данным Ш. Ш. Гасанова (1969), вещественный состав их отличается преобладанием пылеватой фракции (до 86%), содержание глинистых частиц в приповерхностных частях разреза колеблется от 33 до 2—5%. Отложения скованы мерзлотой и имеют наибольшую льдистость из всего комплекса ледниковых осадков (Анадырский регион).

Морские, аллювиально-морские и ледниково-морские отложения развиты узкой прерывистой полосой вдоль побережья морей, вдоль берегов глубоко вдающихся в сушу заливов (Колючинская и Чаунская губа, заливы Креста, Анадырский лиман и др.), на побережьях островов и полуостровов (Сахалин, Курильские острова, Камчатка). Отложения представлены как голоценовыми осадками, формирующими современные аккумулятивные образования (лайды, косы, пляжи, низкие террасы), так и комплексом более древних образований, слагающих уровни высоких террас. Последние обычно встречаются в виде небольших фрагментарных участков высотой до 100—120 м.

Инженерно-геологические особенности отложений морского генезиса зависят от многих факторов, среди которых следует выделить: геологическое строение и рельеф побережья, приливно-отливные процессы (азональные факторы) и климатические условия, которые определяют современное состояние пород, ледовую обстановку и волновой режим акватории (зональные факторы). Их взаимодействие приводило и приводит к различным условиям накопления морских осадков на побережьях северных и дальневосточных морей. Это создает предпосылки

для выделения нескольких типов побережий, отличающихся условиями морской аккумуляции и различной сохранностью морских образований.

Морские отложения Чукотки слагают террасы различного возраста, от голоцена до раннего плейстоцена. Наиболее широким распространением пользуется II терраса, сложенная преимущественно песками, подстилаемыми супесями с прослоями галечников, и I терраса, протягивающаяся вдоль берега узкой прерывистой полосой. Отложения последней на побережье широко открытых заливов представлены чаще песками, на побережье глубоко вдающихся заливов и лагун, отчлененных косами, горизонтально-слоистыми суглинками и супесями со значительной примесью органического вещества. Повсеместно развиты современные террасы (пляжи, косы, бары), сложенные гравийно-галечниковым материалом, формирование которых продолжается в настоящее время. Строение высоких террас (III и IV), развитых фрагментарно, более сложное. Здесь морские пески и галечники в средней части разреза нередко замещаются ледниково-морскими и ледниковыми валунными суглинками. В целом морские отложения характеризуются большой фациальной изменчивостью. Таким образом, в разрезе преобладает серия регрессивных осадков, реже встречаются фации опресненных лагун и сублиторальные фации открытого моря.

Характерными особенностями морских осадков Северо-Востока являются значительные колебания объемной массы, пористости (30—70%) и льдистости (27—83%). Лагунная фация, представленная тонкоотмученными пылеватыми глинами, имеет льдистость до 104,8% (пос. Шахтерский).

Морские отложения северо-западной части Охотского побережья (Охотско-Чукотский регион) слагают I, II и III террасы, пляжи, косы и береговые валы. Широкое развитие продольных абразионных берегов с редкими неглубокими заливами, сильные волнения, типичные для Охотского моря, создают условия для формирования осадков более грубого состава. Здесь в разрезах преобладают диагонально-слоистые песчано-гравийные отложения (мощность слоев 0,5—8 м) с прослоями галечников до 1,5—5 м. На низких террасах, особенно в районе заливов, разрез венчают торфяно-илистые лагунные осадки. Характерной особенностью является наличие островной мерзлоты, сковывающей морские осадки в виде линз с глубины 12—14 м.

Морские отложения риасового побережья Охотского моря представлены голоценовыми осадками пляжа, береговых валов, а на севере слагают участки террас. Глубоко вдающиеся заливы этой части берега, высокие приливы создают условия для заиливания отложений и развития прилиманных суглинков и глин. Для отложений пляжа типичны илы и гравийники с редкой галькой. Береговые валы сложены суглинками мощностью 2—3 м с прослоями вязких илов (0,2—0,5 м), ниже по разрезу — галечники. Террасы сложены галечниками с песчано-гравийным заполнителем и покровными суглинками, супесями, песками. Мощность отложений пляжей и кос 4—6 м, террас — 6—20 м.

Морские отложения Татарского пролива и Японского моря представлены в основном голоценовыми осадками. Верхне- и (условно) среднеплейстоценовые отложения встречаются фрагментарно, слагая участки аккумулятивно-абразионных террас высотой до 20 м. Террасы сложены гравийно-галечниковым материалом мощностью 1—2 м. Их перекрывает толща суглинков и супесей с гравием, галькой, валунами и глыбами, с прослоями глин общей мощностью 5—6 м, иногда и более. Пляж и косы сложены преимущественно гравелистыми песками. Грунты в полосе осушки — песчано-илистые и илистые. Общая мощность

отложений до 30 м. Прибрежно-морские пески и галечники отличаются высокой плотностью сложения, слабой засоленностью. Пески разнозернистые диагонально-слоистые, галечники чаще мелкие, хорошо окатанные.

Морские отложения Камчатки развиты прерывистой полосой шириной до 5—15 км. Они представлены отложениями голоцена — нижнего плейстоцена.

В устьях крупных рек развиты аллювиально-морские образования, представленные песками средней крупности, переслаивающимися суглинками, глинами и илами.

Лагунно-морские осадки встречаются в основном в заливе Петра Великого. Мощность их в прибортовой части долин 5—9 м, в центральной — до 30—35 м и более. Формирование лагунно-морских отложений происходило в условиях неглубокой соленой лагуны в умеренном теплом влажном климате. Разрез выдержан по простиранию. В составе комплекса до глубины 20—30 м, иногда более, доминируют илы, перекрытые иловатыми песками мощностью от 4 до 9 м.

Естественная влажность илов 43—123% (в среднем 70%), консистенция текучая. Объемная масса колеблется от 1,33 до 1,75 г/см^3, пористость 50—90%. Слабая уплотненность илов, высокая гидрофильность указывают на то, что они еще находятся на стадии раннего диагенеза, поэтому структурные связи у них слабые и механическая прочность низкая.

ГЛАВА 3

ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ГОЛОЦЕНЕ И ИХ РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

Ландшафтно-климатическая зональность

Природные условия территории Дальнего Востока, включающего в себя Северо-Восток СССР и Камчатку, имеют неповторимое своеобразие. Расположение региона в пределах подвижного Тихоокеанского пояса мезокайнозойской складчатости, характер и направленность новейших движений обусловили создание различных морфоструктур, нашедших свое отражение в общем характере рельефа. На формирование и расположение ландшафтов оказывает влияние множество причин, важнейшими из которых являются: географическая зональность, рельеф и прибрежное положение региона. Существенные климатические и ландшафтные различия между отдельными районами территории часто связаны с орографическими рубежами, значительно меняющими и усложняющими распределение тепла и влаги.

Климат является одним из основных факторов, определяющих направление формирования инженерно-геологических свойств пород, так как в определенном климате в коре выветривания формируется определенная ассоциация глинистых минералов; с климатом связана интенсификация тех или иных геологических процессов, годовой сток, режим рек и, следовательно, характер осадконакопления. Положение территории на восточной окраине материка обусловливает муссонный климат со свойственной для него сезонной сменой перемещения воздушных масс. Север Дальнего Востока отличается суровыми климатическими условиями и характеризуется сильным взаимодействием цик-

лонических и антициклонических систем. Зимой (октябрь — март) над тихоокеанским сектором господствует зональная западная циркуляция (81%). Повторяемость циклонов в этот период составляет 75—100%. Внутриконтинентальные районы характеризуются антициклональным режимом, а над восточными и юго-восточными окраинами территории и омывающими морями развиваются глубокие часто повторяющиеся циклоны. В теплое полугодие (апрель—сентябрь) условия атмосферной циркуляции менее контрастны: над сушей и омывающими морями повторяемость циклонов от 50% (континентальные районы) до 75%. Атмосферная циркуляция определяет режим облачности и продолжительность солнечного сияния. Радиационный баланс не превышает 20 ккал/см², а с ноября по февраль даже отрицательный (минус 1—2 ккал/см² в месяц). Продолжительность солнечного сияния в верховьях и среднем течении Яны, Индигирки, Колымы 2000—2100 ч, в их нижнем течении и бассейне р. Анадырь — 1700—1800 ч, а на северо-восточной Чукотке — менее 1000 ч. Максимум солнечного сияния наблюдается с марта по май, когда большинство солнечной радиации отражается от заснеженной поверхности и не используется на нагревание земли и воздуха.

Термический режим характеризуется длительным морозным периодом и коротким безморозным периодом с невысокими температурами. Среднегодовые температуры повсюду отрицательные: от —4 до —17°. Средняя температура января на значительной части территории не превышает —20°, а в бассейнах Яны, Колымы, Индигирки не превышает —36°, в горных долинах (инверсия) — около —48°. Абсолютные минимумы всюду ниже —50° (в Оймяконе —71°). Устойчивые морозы, продолжающиеся с октября по май, создают большие запасы холода в мерзлых грунтах, препятствующие летнему глубокому протаиванию. В северных прибрежных районах средняя температура наиболее теплого месяца +4°, а в долинах рек континентальной части до +12—16°. Безморозный период колеблется от 50—80 до 90—120 дней (Охотское побережье). Период со средними суточными температурами выше нуля — 130—140 дней в году. Лишь 60 дней наблюдается температура выше 10° и 100 дней — выше 5°. В горах с высотой резко уменьшаются величины теплового баланса. Так, сумма температур выше 10° уменьшается в 2—2,5 раза на высотах 1200—1400 м (верховья р. Колымы).

Осадки и их распределение в пределах севера Дальнего Востока определяются характером атмосферной циркуляции и горным рельефом, создающим преграды влагонесущим потокам. Общее количество осадков колеблется от 200—400 мм (внутренние районы Приколымья) до 700—900 мм (прибрежные районы). Коэффициент увлажнения — соотношение осадков к возможному испарению — 1—1,33 (северные низменности, побережье). Минимальные его значения 0,77—1, указывающие на слабо засушливую зону, развиты в среднем течении Яны, Колымы, Индигирки. Там же наблюдаются и очень засушливые участки с коэффициентом увлажнения 0,33—0,55. Континентальность климата увеличивается с юго-востока на северо-запад, достигая максимума в межгорных впадинах среднего течения Колымы.

По климатическим особенностям на севере Дальнего Востока могут быть выделены (Клюкин, 1970) две климатические зоны: 1) зона климата арктической пустыни и арктической тундры, для которой характерна чрезвычайно большая суровость погоды (среднегодовая температура до —17°), очень холодное лето и суровая снежная зима; 2) зона климата тундры и лесотундры (среднегодовая температура до —4°) с прохладным летом и морозной зимой.

Климат Камчатки можно рассматривать как переходный между муссонным климатом приморских районов Северо-Востока и океаническим Курильских островов. На Камчатке резче выражен летний муссон, зимний же прерывается частым прохождением полярно-фронтовых циклонов. В целом климат Камчатки довольно суровый с продолжительной зимой и коротким прохладным дождливым летом. Среднегодовая температура воздуха на Камчатке изменяется от —4° на севере (Чемурнаут) до 0° на юге. Преобладает пасмурная погода.

Температурный режим Камчатки различен. Центральная депрессия характеризуется самыми низкими температурами, но относительно теплым летом. Восточное побережье теплее западного за счет более высоких зимних температур.

Осадки также распределены неравномерно. Наибольшее количество осадков до 1100—2604 мм в год (Паужетские ключи) выпадает на восточном и юго-восточном побережье, минимальное до 330 мм в год (Эссо, Тиличики) — в центральной и северной частях полуострова. На юге Камчатки сумма осадков в два-три раза превышает среднюю годовую сумму испарения, что вызывает избыточную увлажненность.

В зависимости от циркуляционных процессов и физико-географических условий на Камчатке можно выделить пять климатических районов (Кондратюк, 1971): 1) северный район с резко континентальным климатом, суровой зимой и довольно теплым летом. Снежный покров здесь сохраняется более 7 мес, средняя высота его 40—60 см; 2) долина р. Камчатки с умеренно континентальным климатом, сравнительно холодной, многоснежной зимой и теплым довольно продолжительным летом с большим числом солнечных дней, частыми ливнями и грозами; 3) западное побережье с морским умеренным климатом. Зима на северо-западном побережье суровая, малоснежная (120—150 мм), на юго-западном более мягкая, снежная (250—350 мм). Лето прохладное, сырое, пасмурное, осадков выпадает 350—450 мм; 4) восточное побережье с морским мягким климатом в южной части и более суровым — в северной. Зима здесь сравнительно мягкая с большим количеством осадков, от 250—350 мм на севере и 600—700 мм на юге; часто продолжительные метели, ураганные ветры, снегопады, обледенение проводов, наблюдается резкая и внезапная смена погоды. Лето непродолжительное, довольно теплое; 5) горный район полуострова, охватывающий хребты Срединный и Восточный, характеризуется резко континентальным климатом и по своим климатическим условиям близок к северному району.

Климат Курильских островов морской муссонного типа характеризуется сравнительно теплой с частыми оттепелями зимой и прохладным сырым летом с продолжительными дождями до нескольких суток. Среднегодовая температура воздуха не падает ниже 0° и изменяется от +1,2° (на северных островах) до +5,5° (на южных). Количество выпадающих осадков до 1000—1500 мм в год, причем максимум падает на август—ноябрь. Наиболее интенсивные осадки наблюдаются на южных островах.

Юг Дальнего Востока относится к умеренной области дальневосточного муссонного климата. Годовая суммарная солнечная радиация колеблется от 90 до 118 ккал/см^2 с общим ее увеличением с севера на юг. В этом направлении увеличивается и среднегодовая температура: на Буреинском хребте —4,9°, на Сихотэ-Алине 1,3°. Годовое количество осадков заметно меняется с продвижением с северо-востока на юго-запад, что связано с рельефом территории, определяющим движение воздушных потоков. Поэтому климатические границы в основном

совпадают с орографическими. Субмеридиональная система горных хребтов Сихотэ-Алиня, являющаяся первым барьером на пути теплых океанических воздушных масс, осаждает часть влаги. Второй, более значительный по высоте барьер — система Баджальского и Буреинского хребтов. Значительную часть влаги летние муссоны теряют при движении на север, где приходится преодолевать субширотную цепь хребтов Янкан-Тукурингра-Джагды. Таким образом, в глубь суши возрастает континентальность климата, увеличивается амплитуда годовой и суточной температур, сокращается количество осадков с 800 до 400 мм, изменяется годовой ход относительной влажности. В наиболее континентальных районах Хабаровского края (Амуро-Зейская впадина) сумма осадков составляет 400—500 мм в год, в прибрежных районах — 800 мм в год. Большое значение имеет муссонный режим выпадания осадков, когда подавляющая их часть (75—95%) приходится на теплое время года. Дожди, особенно обильные в июле и августе (около 0,025 мм/мин), вызывают грандиозные разливы рек, превосходящие весеннее половодье, это наносит большой ущерб народному хозяйству. Крайняя неравномерность речного стока является одной из основных трудностей для строительства гидростанций. Зимой при интенсивном выхолаживании суши происходит устойчивый отток континентальных воздушных масс, перемещаемых от азиатского антициклона ветрами северных направлений. Зимний муссон более устойчив и резче выражен, чем летний. Он сильно понижает температуру холодного периода, а вместе с тем и всего года. Суммарная радиация в зимнее время благодаря ясной погоде больше, чем на соответствующих широтах европейской части СССР. Несмотря на это, средняя температура января в Хабаровске — 31—32°, во Владивостоке —14°. Снижение температуры зимой усиливается вторжением холодного арктического воздуха. Низкие зимние температуры, маломощный снежный покров (10—20, редко до 30—40 см) создают условия для широкого распространения многолетней мерзлоты в северной части и глубокого (до 3—4 м) сезонного промерзания в южной.

По климатическим условиям южная часть Дальнего Востока делится на четыре района: 1) Сахалин с морским умеренно холодным, на юге умеренным муссонным климатом; 2) прибрежный район умеренного муссонного климата; 3) Амуро-Уссурийский район умеренного континентально-муссонного влажного климата; 4) Зейско-Амгунский район муссонно-континентального умеренно влажного климата.

Орография Дальнего Востока характеризуется сложным сочетанием крупных горных массивов, разделенных равнинами разнообразных размеров и очертаний (см. рис. 4). Разнообразие рельефа определяет и различие инженерно-геологических условий, так как без учета характера рельефа и режима современных рельефообразующих процессов невозможны планирование и размещение промышленных объектов, строительство городов, прокладка коммуникаций, планировка сельскохозяйственных угодий. В пределах Дальнего Востока выделяются пять основных генетических групп горного рельефа, отличающихся обликом, высотой, расчлененностью.

Экзарационные альпинотипные горы занимают сравнительно небольшие площади в наиболее высоких центральных частях отдельных хребтов (Верхоянского, Черского, Анадырского, Дуссе-Алиня, Ям-Алиня, Эзопа, Буреинского) и нагорий (Корякского, Омолонского, Сунтар-Хаята). Рельеф их отличается чрезвычайно резким расчленением бессистемно расположенных водоразделов, обилием крутосклоиных цирков, острых вершин, зубчатых гребней, узких ущельеобразных долин. Абсо-

лютные высоты гор чаще составляют 1500—2500 м. Условия строительства в районе экзарационных альпинотипных гор настолько сложны, что до сих пор даже на юге они практически не освоены и не имеют дорог.

Эрозионные горы, имеющие широкое распространение как на севере территории, так и на юге (хребты Буреинский, Баджальский, центральная часть Сихотэ-Алиня), характеризуются узкими острыми гребнями, крутыми (до 30—35°) склонами. Они часто и глубоко расчленены V-образными и трапецеидальными долинами. В районах с четко выраженной линейностью геологических структур (хребты Пенжинский, Кекульский, юго-западная часть Корякского нагорья, северное Приохотье, предгорья Верхоянья и др.) наблюдаются линейная вытянутость водоразделов, куэстовые гряды, ортогональный рисунок гидросети.

Эрозионно-денудационные низкие и средневысотные горы на севере приурочены к пониженным частям горных массивов; на юге они типичны для хребтов Сихотэ-Алиня, Турана, Хингана. Для них характерны уплощенные вершины и водоразделы, сглаженные нивально-солифлюкционными и денудационными процессами. Абсолютные высоты гор колеблются от 500 до 1200 м, относительные высоты — 300—600 м. Преобладающая крутизна склонов до 20—25°. Горы часто расчленены широкими террасированными трапецеидальными и ящикообразными долинами и межгорными впадинами. Это наиболее освоенная часть территории.

По периферии горных сооружений и между ними большие площади занимают денудационно-эрозионные холмистые и платообразные предгорья (Юкагирское плоскогорье, отроги Восточно-Маньчжурских гор и др.). Они характеризуются приблизительной одновысотностью при общем постепенном повышении в направлении от равнин к горам (от 200—300 до 500—700 м). Склоны обычно пологие — 10—15°. Широким развитием здесь пользуются сквозные долины и межгорные впадины.

Вулканические горы и нагорья широким развитием пользуются на Камчатке в центральной части Срединного хребта и Восточного нагорья, на Корякском нагорье и Курильских островах. Они представляют собой сочетание вулканических хребтов с вершинами, сильно разрушенными ледниковой экзарацией, останцов нижнеплейстоценовых лавовых плато и среднеплейстоценовых щитовидных вулканов, а также вулканических долов и конусов, образованных новейшими извержениями, совершенно не затронутыми эрозией. Абсолютные отметки плато 400—1400 м, вулканов — 2700—4800 м, на наиболее высоких из них сохранились ледники.

Изменение по вертикали показателей тепла и влаги приводит к образованию горных ландшафтов.

Горные ландшафты, занимающие большую часть территории, характеризуются сложным мозаичным распространением. Суровые экологические условия на севере Дальнего Востока приводят к формированию сравнительно простой структуры высотной поясности. Значительную часть территории занимают горы с тундровым спектром растительности (рис. 6). Осевые части хребтов заняты каменистыми лишайниковыми тундрами. Открытые пространства и большие амплитуды температур способствуют в горах интенсивному морозному выветриванию, что приводит к широкому развитию глыбового элювия и распространению процессов обрушения, обвалов, осыпей, камнепадов, лавин (Титов, 1971). Горно-арктические (альпийские) щебенистые тундры раз-

виты ниже гольцовой зоны. Ширина их пояса варьирует в зависимости от крутизны и экспозиции склонов. В южной и западной частях территории каменистые пустыни опоясываются ольхово-кедровыми стлаиками, ширина пояса которых не превышает 200—250 м. Они встречаются вблизи побережий на высотах порядка 550 м, а в континентальных районах — на высоте 800—900 м (Чукотка). Стланики закрепляют осыпи и склоны, предотвращая смыв мелкозема и щебня. Для среднего пояса гор (горно-арктические тундры и стланики) характерно широкое развитие площадных процессов: щебневых покровов и потоков, медленной солифлюкции, плоскостного смыва (Титов, 1971). Тундры субарктические осоко-пушицевые кочкарные занимают низкие пологие части склонов гор и предгорные шлейфы. Они широко развиты в горных долинах, по которым поднимаются до каменистых осыпей. На склонах крутизной 15—25° распространена кочкарная осоково-пушицевая бороздчатая (полосчатая) тундра, свидетельствующая об интенсивно протекающих процессах солифлюкции. Под кочкарными тундрами грунты переувлажненные супесчаные и суглинистые, протаивающие на 0,35—0,45 м и обладающие пучинистыми и плывунными свойствами.

Тундрово-таежные спектры растительности развиты в южной (Охотско-Колымский водораздел), западной и центральной частях севера Дальнего Востока. Нижний пояс растительности здесь представлен лиственничными редколесьями, выше их сменяют тундры и каменистые пустыни, а вдоль Охотского побережья тундры — кедровый стланик — гольцы. Наиболее развиты в горах севера Дальнего Востока лиственничники кедровниковые в сочетании с лиственничными редколесьями кедрово-лишайниковыми. Они растут до высот 300—800 м над уровнем моря, ниже пояса горных тундр и кедрово-ольховых ассоциаций. По распадкам горных склонов Охотского побережья на высотах 400—600 м встречаются березово-лиственничные леса. На избыточно увлажненных склонах и выположенных водоразделах (преимущественно в северной части территории) развиваются лиственничные редколесья осоково-пушицевые кочкарные. Небольшими по площади массивами по склонам долин встречаются редколесья лиственничные кустарниково-сфагиовые, достигающие высот 1000 м. Почвы под ними избыточно увлажнены и протаивают до 30—50 см. Для нижнего пояса гор (лиственничные редколесья) характерно широкое распространение площадных процессов: солифлюкции, плоскостного смыва, оползней-оплывин.

Среди горных ландшафтов севера Дальнего Востока наиболее благоприятными, с точки зрения возможного строительства, являются тундровые и тундрово-таежные денудационно-эрозионные холмистые и платообразные предгорья с участками плато и денудационных равнин. В других горных ландшафтах возможное строительство будет приурочено к долинам горных рек, иногда к пологим склонам и шлейфам. Строительство в горах осложняется склоновыми процессами, часто индицируемыми различными видами растительности. Так, например, лишайниковые каменистые и щебенистые тундры свидетельствуют о развитии морозного выветривания, интенсивном осыпании, обваливании; осоково-пушицевые кочкарные тундры — о солифлюкции и др. При строительстве в тундрово-таежной и таежной зонах большое значение имеют запасы древесины, достигающие в среднем 60—70 м^3/га.

Растительность горных районов Камчатки также подчиняется высотной поясности, нарушаемой современным вулканизмом и близостью океана. Склоны гор, обращенные к морю, и холмисто-увалистые пред-

горья покрыты зарослями из кедрового и ольхового стланика и каменно-березовыми лесами. Водоразделы в приморских районах заняты горными тундрами и альпийскими лугами. В пределах Срединного хребта на севере склоны до высоты 1000—1200 м покрыты лишайниковой и мохово-лишайниковой тундрой; нижние части склонов — зарослями ольхового и кедрового стланика. В южной части на восточном склоне хребта до высоты 300—350 м распространены елово-лиственничные леса; на западном склоне и до высоты 800—1000 м — каменно-березовые леса.

Горные ландшафты юга Дальнего Востока относятся к таежным и лесным. В северной части распространены лиственничные леса и редколесья; на водоразделах — кедровый стланик и гольцовая растительность; в центральной части — елово-пихтовые леса. На юге (Сихотэ-Алинь, южные склоны Буреинского хребта, Хинган) нижний пояс составляют широколиственные, хвойно-широколиственные леса, верхний пояс — темнохвойные леса и только на вершинах развивается гольцовая растительность.

Равнинные ландшафты представляют наибольший интерес при оценке ведущегося и возможного строительства. Приморские низменности, межгорные впадины и широкие долины рек севера Дальнего Востока заняты тундровыми, лесотундровыми и таежными аккумулятивными равнинными ландшафтами. Литогенной основой ландшафтов являются преимущественно мерзлые четвертичные отложения, состав которых зависит от генезиса осадков. Равнины характеризуются небольшими абсолютными (до 200—250 м) и относительными (до 15—30, реже 50 м) высотами. Поверхность их плоская, пологоволнистая, реже холмистая (ледниковые и водно-ледниковые равнины) различной степени расчленения и заболоченности. Так, например, плоские слабо расчлененные морские и озерно-аллювиальные низкие равнины сильно заболочены и осложнены множеством озер, а хорошо дренируемые участки морских и водно-ледниковых террас и конусов выноса имеют сухие слабо пересеченные поверхности. Различные виды тундр, которым обычно свойствен определенный микрорельеф, являются индикаторами инженерно-геологических условий. Полигональные тундры, имеющие четкий полигонально-валиковый или полигонально-трещинный микрорельеф, свидетельствуют о наличии мелкоземистых (супеси, суглинки) заболоченных грунтов, о небольшой глубине сезонного протаивания (до 0,3—0,5 м), о сильной льдистости отложений. Участки развития полигонов, морозобойных трещин, термокарстовых просадок указывают на наличие жильных и инъекционных льдов. Кочкарные осоково-пушицевые тундры со своеобразным мелкокочкарным микрорельефом, относящиеся к подзоне субарктической тундры, развиваются на ровных и слабонаклонных поверхностях равнин, имеющих недостаточный дренаж. Глубина сезонного протаивания под кочкарными тундрами достигает 0,5—0,8 м. Лишайниковая пятнистая тундра, развитая вдоль бровок террас, на вершинах холмов и гряд, указывает на хороший дренаж этих участков и свидетельствует о значительных (до 1,2—1,5 м) глубинах сезонного протаивания. На юге территории на подобных участках развиваются заросли кедрового стланика. Развитие по долинам рек тополево-чозениевых лесов (ландшафт аллювиальных тундровых и лесотундровых равнин) обычно является показателем наличия таликовой зоны.

В западной части севера Дальнего Востока широко развиты лиственные леса и редколесья, произрастающие даже при сезонном протаивании всего на 40—50 см. Редколесья встречаются и в горных долинах

по широким надпойменным террасам и ложбинам шлейфов. На дренируемых мерзлотно-таежных почвах развиваются густые (сомкнутость 0,4—0,5) лиственничники.

На Камчатке выделяются тундровые и лесотундровые аккумулятивные и денудационные равнинные ландшафты. Наиболее широко они развиты в пределах Западно-Камчатской низменности. Литогенной основой ландшафта в южной части, примыкающей к Охотскому морю, являются рыхлые четвертичные отложения континентального происхождения, в восточной и северной—скальные породы позднемелового—кайнозойского возраста. Равнины характеризуются незначительными абсолютными высотами от 60—80 м, а на юге до 100—300 м. Поверхность равнин на юге плоская или слабоволнистая, к предгорьям и севернее р. Сопочной холмисто-увалистая, расчлененная.

Почвы в основном дерновые, в приморской полосе и на юго-западе слабоподзолистые, болотные и тундровые. На низких приморских равнинах преобладают бугристые торфяные сфагновые болота, на холмисто-увалистой равнине растут парковые каменно-березовые леса и редколесья со злаково-папоротниковым и высокотравным покровом. По долинам рек встречаются тополево-чозениевые леса в комплексе с разнотравными лугами. На повышенных участках и в северной части побережья располагаются кедровниково-лишайниковые и мохово-лишайниковые тундры.

Лесные равнинные ландшафты приурочены к Центрально-Камчатской северотаежной холмисто-равнинной области, сложенной с поверхности озерными, аллювиальными, озерно-аллювиальными, водно-ледниковыми и ледниковыми четвертичными отложениями. Абсолютные отметки равнины изменяются от 10—20 м в осевой части депрессии до 100—200 м вблизи предгорной. Поверхность равнины волнистая, местами холмисто-увалистая, расчлененная долинами рек. Центральная часть равнины занята хвойными лесами. На юге, на приподнятых и примыкающих к ней с севера лавовых плато, преобладают бугристые моховые, лишайниковые и кустарничковые тундры в сочетании с белоберезовыми и каменно-березовыми лесами, болотами, заболоченными разнотравными и осоково-вейниковыми лугами. На низких террасах и местами на озерно-аллювиальных равнинах развиты заболоченные редкостойные лиственные леса и сфагновые болота. На поймах рек растут тополевые леса в сочетании с зарослями ивы, ольхи и высокотравными лугами. Почвы дерново-луговые, слабоподзолистые и торфянисто-болотные. Изредка под бугристыми торфяниками и в тундре встречаются многолетнемерзлые породы.

Среди равнинных ландшафтов юга Дальнего Востока наиболее широко развиты аккумулятивные озерные и аллювиально-озерные равнины. Сильная заболоченность с торфонакоплением, развитие с поверхности глинистых тиксотропных грунтов мягкопластичной и скрытотекучей консистенции с низкой несущей способностью требуют проведения сложнейших мелиоративных работ при освоении этих территорий. Тем не менее на большей площади Приханкайской и Средне-Амурской впадин уже построены ирригационные системы для использования этих земель под сельскохозяйственные угодья. Наиболее удобны для строительства крупных промышленных центров, дорог аккумулятивно-денудационные озерные, озерно-аллювиальные равнины с волнистой или пологоувалистой поверхностью. Положительными сторонами ландшафтов аккумулятивно-денудационных равнин, помимо плавных форм рельефа, являются отсутствие заболоченности, глубокое залегание грунтовых вод и сильно уплотненные грунты с высокой степенью литификации.

Глины, слагающие эти поверхности, обычно полутвердой или тугопластичной консистенции. Пески сильно уплотнены, каолинизированы. К этим ландшафтам приурочены города Хабаровск, Уссурийск, Бикин и другие и основные железнодорожные и автомобильные магистрали.

Денудационно-эрозионные равнины (Амуро-Зейская, Верхне-Зейская, Северо-Сахалинская) сильно расчленены овражно-долинно-балочной сетью, что уменьшает полезную площадь и осложняет строительство. Для литогенной основы этих равнин характерна высокая степень уплотнения, литификации, гипергенеза.

Сильно меняющиеся климатические условия от морских на юго-востоке до типично континентальных на западе и северо-западе обусловливают сложную структуру растительного покрова, для которой типичны большая пестрота, частая смена растительных группировок на небольшом расстоянии, совместное существование растений различных климатических областей и обилие древних видов. На юге Дальнего Востока выделяются четыре ботанико-географические области: Маньчжурская, Даурская, Охотская и Сибирская. Первые две формируют лесостепную и лесную зоны. Охотская флора образует подзону темнохвойных елово-пихтовых лесов; сибирская — подзону лиственничных и березово-лиственничных лесов. Лесная и лесостепная зоны расположены в южной половине; таежная — в северной. Зональность изменяется не с юга на север, а с юго-запада на северо-восток, что связано с уменьшением континентальности климата и увеличением влажности. В районе Сихотэ-Алиня границы зон значительно отклонены, опускаясь на юг вдоль меридиональных горных хребтов и восточного побережья. Таежная зона охватывает Верхне-Зейскую, Удскую, Нижне-Амурские, Удыль-Кизинскую, значительную часть Амуро-Зейской впадины. Климат здесь наиболее суровый с очень холодной продолжительной зимой и коротким летом. Среднегодовые температуры отрицательные — от —2° на юге до —7° на севере. Поэтому для таежной зоны характерно наличие островной многолетней мерзлоты или глубокого сезонного промерзания, а в межгорных северных котловинах многолетняя мерзлота уже занимает значительную часть площади. Постепенное похолодание к северу отражается на смене растительных группировок. В южных районах зоны встречаются елово-пихтовые леса, которые к северу сменяются лиственничными или березово-лиственничными. В наиболее суровых межгорных впадинах развиты северотаежные редколесья. Почвы буро-таежные или слабоподзолистые, ненасыщенные основаниями с кислой реакцией. Для внутрипочвенного выветривания типично формирование гидрослюд с примесью каолинита. Механический состав мелкозема горных почв благодаря постепенному затуханию процессов химического выщелачивания более грубодисперсный, чем в лесной зоне. Здесь распространены средние суглинки, а на Крайнем Севере нередки супеси. Широкое развитие мерзлоты, медленное оттаивание способствуют развитию криогенных процессов и заболачивания. Процессы заболачивания охватывают 90—98% площади равнины, долин и пологих склонов. Болота встречаются даже на возвышенных равнинах. Преобладают олигомезотрофные лиственничные кустарничково-сфагновые болота с мощностью торфа 1—2 м, максимум до 4 м. В северных межгорных впадинах встречаются пологовыпуклые крупнобугристые торфяники. В таежной зоне муссонный режим выражен наиболее ярко, что приводит к заиливанию даже руслового аллювия.

Лесная зона охватывает значительную площадь юга Дальнего Востока. В нее почти целиком входит Средне-Амурская низменность,

Климат здесь более суровый, чем в лесостепной зоне. Среднегодовые температуры на юге около нуля градуса, на севере —2°. Длительные суровые зимы, маломощный снежный покров приводят к глубокому сезонному промерзанию почв от 2 м на юге до 3—4 м на севере. Медленное оттаивание сезонной мерзлоты способствует увеличению влажности поверхностных слоев в первой половине лета (в дождливый сезон), что приводит к смене окислительной среды восстановительной и широкому развитию процессов оглеения. Влажность в лесной зоне выше, чем в лесостепной. Сумма осадков превышает испарение. Хвойно-широколиственные леса с богатым наземным покровом способствуют формированию бурых лесных и горно-лесных почв, насыщенных основаниями с нейтральной или щелочной реакцией. Для внутрипочвенного выветривания типично образование гидрослюдисто-монтмориллонитовых минералов, накопление окислов железа. Теплое, даже жаркое влажное лето усиливает процессы химического выветривания, что приводит к увеличению дисперсности горных почв. На гранитах механический состав мелкозема, как правило, тяжелосуглинистый, на базальтах — глинистый. Равнинные пространства, сложенные с поверхности глинами, благодаря муссонному климату, избыточной влажности подвержены заболачиванию. Для формирования и развития болот в лесной зоне вполне достаточно атмосферных осадков, поэтому на равнинах болота встречаются даже на надпойменных террасах высотой 15—20 м. Доминируют мезотрофные переходные мохово-осоковые болота с толщиной залежей около 1, максимум 2,5 м. Долины горных рек, выполненные песчано-галечниковым аллювием, заболочены слабо. В лесной зоне ярко выражен и муссонный режим рек — резкое колебание водности по сезонам года, что приводит к заиливанию аллювия.

Лесостепная зона распространена только по равнинам крайнего юга Дальнего Востока и на юге Средне-Амурской и Амуро-Зейской равнин. Климат лесостепи наиболее теплый и наименее влажный. Среднегодовые температуры +1—4°. Глубина сезонного промерзания 1—1,8 м (оттаивание заканчивается в апреле — мае). Коэффициент увлажненности близок к 1, т. е. испарение равно количеству осадков. Растительность представлена разнотравно-злаковыми лугами, в значительной мере распаханными с участками остепненных дубняков. Длительное жаркое лето способствует хорошему разложению растительных остатков. Почвы буро-подзолистые, луговые подбелы и лугово-черноземовидные (Амуро-Зейская) со слабокислой или нейтральной реакцией. Внутрипочвенное выветривание приводит к формированию гидрослюдистых с примесью монтмориллонита минералов, чему способствует относительная сухость климата. Равнинам лесостепи свойственна минимальная степень заболоченности. Болота и заболоченные земли располагаются здесь в поймах рек, в слабопроточных и замкнутых котловинах надпойменных террас. Их образование вызвано притоком грунтовых вод. На плоских поверхностях, увлажненных преимущественно атмосферными осадками, в период муссонных дождей происходят временное переувлажнение, смена окислительных процессов восстановительными и оглеение некоторых горизонтов почвенного профиля. Однако прогрессивное накопление растительных остатков не наблюдается, так как они полностью разлагаются и минерализуются. Все болота в эвторфной стадии вейниковые, осоковые, гипново-осоковые, низинные. Мощность торфяной залежи чаще 40—60 см, редко достигает 2 м. Слабая задернованность поверхности, четко выраженная структура и макропористость поверхностных горизонтов способствуют быстрому формированию промоин и развитию овражной эрозии.

Таким образом, ландшафты, являющиеся функцией изменения климата, так же как и климат, оказывают огромное влияние на формирование инженерно-геологических свойств пород и инженерно-геологические условия. В соответствии с зонами существенно варьирует степень заболоченности, закономерность размещения болот, их типологический состав, мощность торфяных залежей и др.

История развития многолетнемерзлых пород и закономерности современных геокриологических условий

На значительной части территории Дальнего Востока распространены многолетнемерзлые породы, мощность которых варьирует от десятков до 1000 м и более. Они отсутствуют лишь на Сахалине, Курильских островах, в южных районах Камчатки и частично в Приморье.

История развития мерзлых толщ Дальнего Востока тесно связана с геологической историей и с палеогеографией региона. Первое глубокое многолетнее промерзание горных пород относится к раннеплейстоценовому времени. В это время Верхоянский хребет, нагорье Черского, Колымское и Корякское нагорья и другие возвышенности оказывались в условиях холода, достаточного для глубокого промерзания непокрытых мощными снегами вершин.

О криогенных процессах на территории Колымской низменности в раннем плейстоцене свидетельствуют псевдоморфозы по повторно-жильным льдам в озерно-аллювиальных отложениях олерской свиты (Архангелов, Шер, 1973). Можно предположить, что условия для глубокого промерзания возникали даже несколько раньше. Поэтому есть все основания считать, что в начале четвертичного периода, по крайней мере, на севере Дальнего Востока высокие горы и обширные низменности, а также территории нынешнего шельфа являлись областью активных криолитогенных процессов.

В дальнейшем на протяжении всего четвертичного времени многолетнемерзлые породы существовали непрерывно. Периоды активизации криолитогенных процессов, связанные с похолоданием климата и появлением оледенения в горах, чередовались с периодами частичной деградации мерзлых толщ в условиях относительно теплого климата межледниковий.

Во время похолоданий на низменностях активно протекал процесс сингенетического криолитогенеза, сменившийся в конце позднего плейстоцена процессами преимущественно эпигенетического промерзания грунтов. Процесс накопления льда в грунтах сопровождался при определенных условиях термокарстом, а термокарстовые впадины, частично менявшие свои очертания после ухода из них воды, вновь промерзали с образованием эпигенетических повторно-жильных льдов и булгунняхов. В горах активно проявлялись морозное выветривание, солифлюкция и другие склоновые процессы, свойственные холодному климату.

В период климатического оптимума голоцена в южной части севера Дальнего Востока происходит протаивание мерзлой толщи. На севере региона врез водотоков и образование речных долин вызвали активизацию процессов термокарста, явившегося причиной появления большого количества аласов, аласных равнин, байджарахов и булгунняхов. Все это, несомненно, увеличивало водообмен в поверхностных слоях земли и способствовало частичной деградации мерзлых толщ.

Процессы сингенетического накопления льда в мерзлых отложениях хотя и продолжаются, но в значительно меньших масштабах, чем прежде. Преобладающими являются процессы эпигенетического промерзания формирующихся отложений — озерных, аллювиальных и морских (косы, отмели).

Распространение многолетнемерзлых пород. По интенсивности распространения многолетнемерзлых пород, с учетом преимущественно географической зональности, на территории Дальнего Востока выделяются три субширотные зоны (рис. 7).

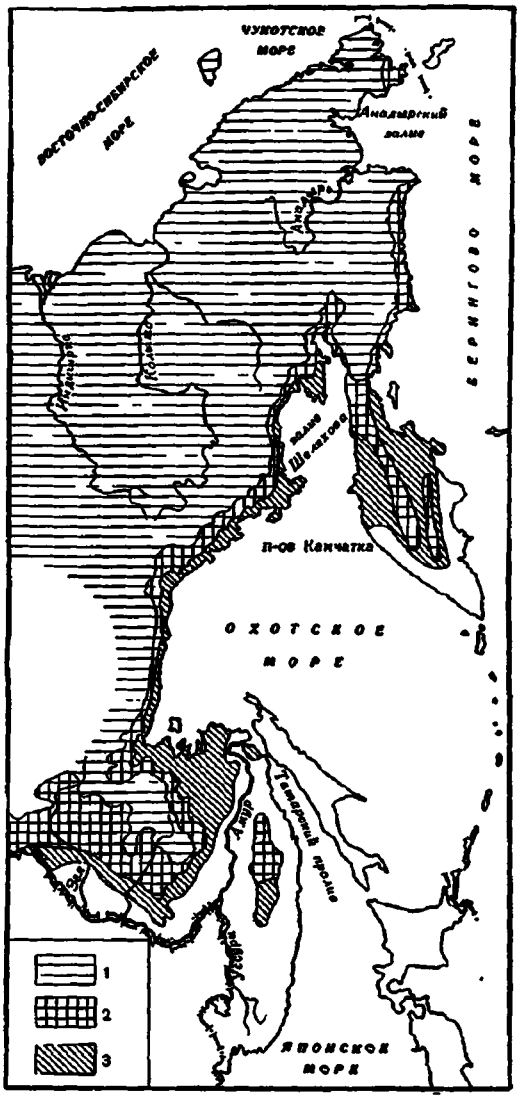


Рис. 7. Схематическая карта распространения многолетнемерзлых пород: 1—3 — зоны распространения многолетнемерзлых пород соответственно: сплошного; прерывистого и массивно-островного

Зона преимущественно сплошного распространения многолетнемерзлых горных пород (мерзлыми породами занято не менее 90% площади) занимает большую часть севера Дальнего Востока. Толща многолетнемерзлых пород прерывается здесь главным образом под влиянием гидрогеологических и гидрологических факторов: на участках питания и разгрузки подмерзлотных вод, а также под крупными водоемами — непромерзающими реками и озерами. Лишь отепляющее влияние крупнодебитных источников подмерзлотных вод, крупных водных артерий и акваторий достаточно для образования сквозных таликов. Сквозные водопоглощающие, водовыводящие и водопроводящие талики здесь существуют исключительно в долинах рек. Наиболее крупные азональные талики приурочены к широким долинам рек, сложенным галечниками. Примером может служить талик в Марковской впадине, достигающей 15—20 км в поперечнике. Значительные по площади сквозные талики известны также в верховьях р. Чауп, в нижнем и среднем течении рек Майн, Еропол, Великой, Колымы, Индигирки и др. (Граве, 1959; Некрасов, 1967). В долинах некоторых рек в Эльгенской межгорной впадине обнаружены талики экзотермического происхождения, связанные с окислением сульфидов грунтовыми водами (Граве, 1959; Швецов, 1962). В области современного оледенения (хр. Сунтар-Хаята) относительно маломощные ледники не предохраняют днища трогов от промерзания (Корейша, 1963), а оголенные от

снега вершины гор, выше 2500—3000 м, по-видимому, совсем не имеют значительных таликов.

На обширных Яно-Индигирской и Колымской низменностях множество озер главным образом термокарстового происхождения, обусловливают повышенную прерывистость мерзлых толщ под водоемами с образованием сквозных и несквозных таликов.

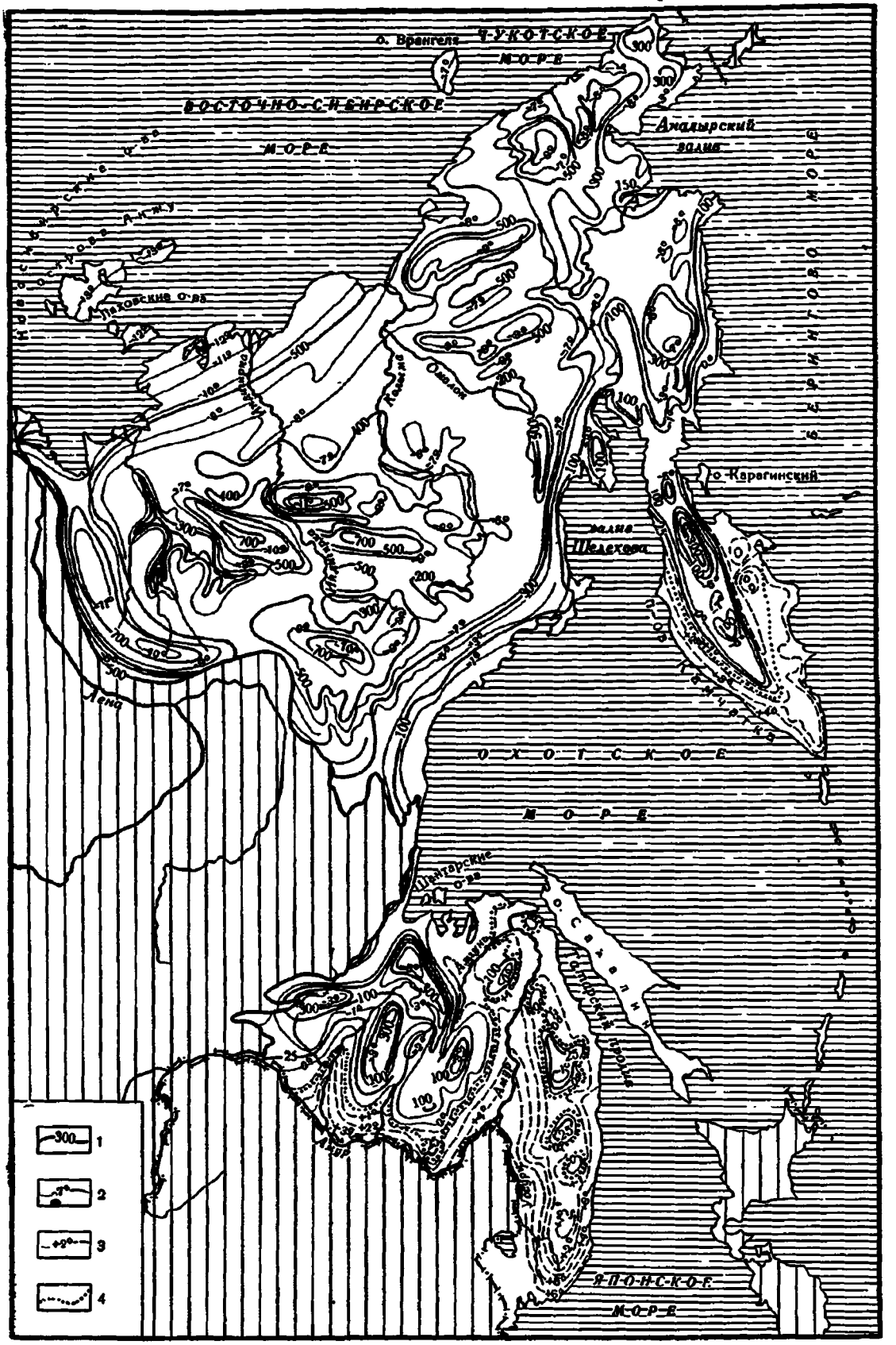
В зоне прерывистого распространения многолетнемерзлых пород мерзлыми породами занято 50—90% площади. В пределах этой зоны прослеживаются талики как гидрогеологического и гидрологического происхождения, так и талики радиационного генезиса. Последние приурочены к участкам с мощным снежным покровом, к склонам южной экспозиции и к участкам, сложенным породами, хорошо инфильтрующими дождевые воды. Талики развиты не только в долинах, но и на водоразделах.

В зоне массивно-островного и островного распространения многолетнемерзлых пород мерзлые породы занимают не более 10—50% и приурочены здесь к заболоченным маревым участкам пойм и надпойменных террас, торфяникам и склонам северной экспозиции, к залесенным водоразделам, поросшим лиственничным замшелым лесом. Талики в пределах данной зоны по своему происхождению являются гидрогеологическими, гидрологическими и радиационными. Площадь, занимаемая ими, больше, чем в пределах зоны прерывистого распространения многолетнемерзлых пород. На низменностях, расположенных в самой южной части региона, многолетнемерзлые породы отсутствуют (см. рис. 7).

Температура многолетнемерзлых горных пород. В соответствии с широтной зональностью температура многолетнемерзлых пород понижается с юга на север от —1 до —12° (рис. 8). На широтную зональность изменения температуры горных пород накладывается влияние высотной геокриологической поясности. В горной части региона прослеживаются два основных типа геокриологической поясности: континентальный и океанический.

К континентальному типу геокриологической поясности относится территория, ограниченная на западе предгорьями Верхоянского хребта, в восточной и юго-восточной частях — водоразделом системы рек Ледовитого и Тихого океанов. К этому же типу геокриологической поясности относится южная часть Яно-Индигирской и Колымской низменностей и основная часть территории юга Дальнего Востока, за исключением приморских районов.

В континентальном типе трехъярусная структура охлаждения земной коры присуща тем горным районам, пониженные участки которых взаимодействуют с инверсионным слоем тропосферы, а вершины гор расположены в свободной тропосфере. В рассматриваемом регионе потолок инверсии расположен на высотах от 600 до 2200 м (Луговой, 1970). Обычно при расположении днищ долин на абсолютной высоте около 400 м в пределах континентального типа геокриологической поясности прослеживается трехпоясовая структура охлаждения (районы Момской и Оймяконских впадин, хребты Тукурингра, Джагды, Буреинский и Баджальский), где температура горных пород постепенно повышается с высотой до среднего пояса с различным градиентом, а выше потолка инверсии происходит понижение температуры горных пород с гипсотермическим градиентом, близким к 0,5°/100 м. В пределах низкогорий и среднегорий часто прослеживается только нижний и переходный геокриологические пояса, т. е. происходит постепенное повышение температуры горных пород от днищ долин к водоразделам. Однако благодаря большим


о. Врангеля
ЧУКОТСКОЕ
МОРЕ
ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ
МОРЕ
Анадырский
залив
Колымское
мелководье
Колыма
Медвежьи о-ва
Де-Лонга о-ва
Новосибирские о-ва
Ляховские о-ва
Колымская
Яна
Индигирка
Омолон
о-Карагинский
залив
Шелехова
Лена
ОХОТСКОЕ
МОРЕ
Шантарские
о-ва
о. Сахалин
Амур
Татарский
пролив
ЯПОНСКОЕ
МОРЕ
1
2
3
4

абсолютным высотам и расположению ряда долин на высоте уровня верхней части нижнего геокриологического пояса в северной половине региона в пределах основной его части наблюдается понижение температуры с высотой с градиентом 0,4—0,5°/100 м.

В центральной части северной половины Дальнего Востока (ультраконтинентальные горно-котловинные районы) наблюдается своеобразный тип геокриологической поясности — до потолка инверсии температура горных пород либо одинакова, либо происходит медленное ее понижение с высотой. Такая закономерность в распределении температур горных пород, по мнению П. Н. Лугового (1970), может объясняться отсутствием адвекции тепла в зоне инверсии. Выше потолка инверсии происходит понижение температуры горных пород с нормальным градиентом

Наибольшие высотные отметки в регионе достигают 3000—3200 м, причем высотные отметки территории региона увеличиваются к центру области с континентальным типом поясности, в этом же направлении происходит понижение температуры пород. По-видимому, высокогорные сооружения (хребты Черского, Верхоянский, Сунтар-Хаята и др.) имеют наиболее низкую температуру горных пород. Зафиксированная температура мерзлых горных пород в верхнем геокриологическом поясе на высоте 1000—1600 м на глубине 15—30 м колеблется в пределах —4,5—9°. На высотах 3000—3200 м можно ожидать температуру горных пород около минус 16—18°. На юге Дальнего Востока, где также развит в основном континентальный тип геокриологической поясности, верхняя граница нижнего геокриологического пояса, по Е. А. Втюриной (1970), располагается на высоте 600—700 м. Приблизительно до этой высоты происходит постепенное повышение температуры горных пород от днищ долин к водоразделам и только выше 1000—1300 м температура пород с высотой понижается. По расчетам П. Н. Лугового (1970), в хр. Тукурингра на высотах 1470—1600 м температура многолетнемерзлых пород около минус 4—5°. Наиболее низкую температуру горных пород следует ожидать в хребтах Джагды, Буреинском и Баджальском. По расчетам В. А. Кудрявцева (1954), температура горных пород в Буреинском хребте может достигать —7°, а по П. Н. Луговому (1970), на высоте более 2000 м даже около —10°. Равнины юга Дальнего Востока нигде не выходят из пределов инверсионного слоя тропосферы, а следовательно, максимальное распространение и наиболее низкие температуры горных пород прослеживаются здесь в пределах склонов северной экспозиции, в заболоченных днищах долин, на торфяниках, на участках с маломощным снежным покровом, в дисперсных грунтах и др.

Понижение температуры горных пород в низкогорных районах происходит в северо-западном направлении от —0,5° (ст. Известковая) до —1,5° (пос. Магдагачи) в связи с возрастанием суровости климата в этом направлении. В замкнутых межгорных депрессиях, для которых характерно сильное выхолаживание, температура горных пород сильно понижена. Так, например, в Буреинской котловине она достигает —3°.

Океанический тип геокриологической поясности свойствен возвышенностям, примыкающим к Яно-Индигирской и Колымской низменностям, Пенжинско-Анадырской впадине, узкой полосе побережья Охот-

Рис. 8. Схема распределения температуры и мощности многолетнемерзлых пород Дальнего Востока (по И. Я. Баранову):

1 — вероятная мощность толщи многолетнемерзлых пород (в горных районах мощность дана через 200 м); 2 — изотерма осредненной температуры мерзлых пород (вне долин) в подошве зоны годовых колебаний в наиболее типичных природных условиях (в горных районах изотерма проведена через 2°); 3 — изотерма осредненной температуры грунтов на глубине трех метров; 4 — южная граница области и отдельных районов с многолетнемерзлыми горными породами

ского моря, восточной части Чукотки, Корякскому и восточной части Колымского нагорья, Камчатке и приморской части юга Дальнего Востока. Температура горных пород здесь понижается с высотой на 0,5—0,7°/100 м. Так, в пределах Колымских гор в поймах рек (абс. выс. 700—800 м) температура горных пород колеблется от 0 до —4°, а на высоте 1000—1200 м температура изменяется от —5 до —8° (Калабин, 1960). В пределах Корякского нагорья температура горных пород изменяется от 0,5—1° в окраинной зоне до минус 3—5° в центральной высокогорной части. Наиболее низкие температуры горных пород приурочены к северо-западной части Корякского нагорья, где температура пород может достигать —6°. На юге Чукотки температура горных пород минус 3—4°; в северной части территории на высоте до 300 м—минус 3,5—6°, а на отметках около 700—800 м понижается до минус 6—8° (Гольдтман, Сезоненко, 1961). Расчетная температура горных пород на вершинах Чукотского нагорья (1300—1400 м) достигает минус 10—11°.

В южной части Сихотэ-Алиня мерзлые породы имеют редкоостровное распространение на водоразделах, а температура их близка нулю, в северной части они уже распространены довольно широко, минимальная расчетная температура минус 3—4°. Аналогичный характер геокриологических условий присущ и Камчатке, где отдельные массивы многолетнемерзлых пород встречаются на вершинах гор. По мере движения на север высотная граница развития мерзлых пород опускается. Высокогорным районам Камчатки в связи с законом высотной поясности океанического типа характерна, по-видимому, температура пород, близкая —10°. В пределах низменностей Северного Ледовитого океана температура горных пород подчиняется широтной географической зональности и с юга на север понижается от —5 до —12°.

Распределение температуры горных пород в зависимости от рельефа местности во многих случаях может нарушаться влиянием подземных вод, снегозаносимостью, геологическими условиями и др. Особенно большое значение в температурном режиме многолетнемерзлых пород региона имеют геолого-географические факторы. Особенно велика роль снежного покрова. Так, в континентальной части региона среднегодовая температура повышается на 1° на каждые 15—16 см высоты снежного покрова. В пределах низменностей и на участках с океаническим типом геокриологической поясности эти значения меньше (приблизительно 0,3—0,7° на каждые 15 см). Экспозиция склона также оказывает влияние на температуру горных пород: на южных склонах температура горных пород на 0,5—3° выше, чем на склонах северной экспозиции (Некрасов, 1974).

Мощность многолетнемерзлых горных пород. Геотермический градиент в приповерхностном слое земной коры, связывающий температуру мерзлых горных пород с их мощностью, изменяется на территории региона от 0,7 до —10°/100 м (Некрасов, 1974). Наименьшие значения градиента свойственны горным районам в области вершин и на резко выраженных водоразделах (0,7—2°/100 м). При низких значениях температуры пород мощность мерзлой толщи достигает максимальных для региона значений. Так, в континентальной части региона на высотах 1000—1200 м мощность мерзлой толщи 400—500 м, а на высотах более 2500 м она достигает 1000 м и более (Верхоянский хребет, хребты Тас-Хаяхтах и Сунтар-Хаята, Колымское и Яно-Оймяконское нагорья и Юкагирское плоскогорье). В горных районах притихоокеанских возвышенностей наибольшая мощность мерзлой толщи ожидается в области вершин Чукотского нагорья (около 1000 м). В Корякском на-

горье и в Пенжинском хребте она снижается до 300—500 м (Граве, 1959).

Несколько больший геотермический градиент (1,5—3,8°/100 м) наблюдается в пределах Момского и Черского хребтов, что в значительной степени связано со спецификой гидрогеологических условий в пределах этой территории. Мощность многолетнемерзлых пород здесь не превышает 500—600 м, а в таких впадинах, как Верхоянская, Аркагалинская, Зырянская и других, — не выше 200—350 м (Калабин, 1960).

Представляют интерес фактические данные о геотермическом градиенте в Оймяконской впадине — на полюсе земного холода северного полушария (Гравс и др., 1964). При температуре —7,5° и геотермическом градиенте 1,2°/100 м мощность мерзлой толщи 600 м, т. е. значительно меньше, чем в окружающих высокогорных районах. По-видимому, здесь оказывают согревающее действие полмерзлотные воды.

Современные ледники не предохраняют подстилающие породы от промерзания и согласно измерениям температуры в одном из ледников Сунтар-Хаята мощность мерзлой толщи подо льдом более 100 м (Корейша, 1963). На самом юге Дальнего Востока мощность многолетнемерзлой толщи хр. Тукурингра, по-видимому, превышает 200 м, а в пределах хребтов Джагды, Буреинского и Баджальского, где температура горных пород достигает —10°, мощность мерзлой толщи превышает 300 м. В горных районах, выше потолка инверсии, мощность многолетнемерзлых пород увеличивается в среднем на 50—60 м на каждые 100 м подъема. На низменностях геотермический градиент характеризуется более высокими значениями. В Яно-Индигирской и Колымской низменностях, в приморских низменностях Чукотки он достигает 2—3°/100 м, а в Момо-Селенняхской впадине — 4°/100 м.

В пределах низменностей на мощность мерзлой толщи влияет широтная географическая зональность. Так, в Яно-Индигирской и Колымской низмениостях с юга на север мощность мерзлой толщи увеличивается с 400 до 500 м, на северных низменностях Чукотки — от 200 до 300—400 м, а в Анадырской низменности — 100—200 м. На юге Пенжинской низменности мощность мерзлой толщи, по-видимому, не превышает 50 м. Несколько увеличенная мощность мерзлой толщи на низменностях Чукотки, примыкающих к морским заливам, связана с влиянием переохлажденной морской воды.

На равнинах юга Дальнего Востока мощность многолетнемерзлой толщи колеблется от нескольких метров до 100—120 м, увеличиваясь с юга на север. Так, например, в пос. Пикан мощность мерзлых пород 50 м, в пос. Дамбуки — 70 м. Увеличение мерзлой толщи происходит и от восточных районов к западным: ст. Ургал 70 м, ст. Тында 100 м (Качурин, 1959). На севере Сихотэ-Алиня мощность мерзлой толщи достигает 80—100 м.

В целом в регионе мощность толщи многолетнемерзлых горных пород возрастает с юга на север от 25 до 500 м и более, т. е. приблизительно на 150—200 м на каждый градус широты.

Генезис и строение многолетнемерзлых горных пород. Для Дальнего Востока характерен в основном эпигенетический тип многолетнемерзлой толщи. Сингенетический тип многолетнемерзлых пород наблюдается в основном в северных озерно-аллювиальных равнинах. По особенностям криогенного строения многолетнемерзлых пород на территории Дальнего Востока выделяются три зоны: южная, умеренная и северная (Втюрин, 1969). Для южной зоны (Приамурье, Камчатка, Приморье) в основном характерна эпигенетическая льдонасыщенная толща. Умеренная зона расположена приблизительно в пределах гео-

изотерм минус 1—5°. Толща многолетнемерзлых пород по своему генезису является полигенетической, малольдистой. Развиты повторно-жильные льды. Северная зона характеризуется в основном сингенетической толщей многолетнемерзлых пород. Она расположена в пределах геоизотерм —5—12°. Льдистость пород весьма высокая как за счет шлирового сегрегационного льда, так и повторно-жильного и пластового льда. Наиболее высокой общей льдистостью и сравнительно большой мощностью сингенетического горизонта мерзлых пород характеризуется Яно-Колымская низменность.

Наряду с широтной зональностью криогенного строения многолетнемерзлых пород существуют резкие различия в криогенном строении пород в зависимости от их генезиса и литологического состава. Ниже рассматриваемая характеристика криогенного строения горных пород региона приводится в основном по данным Б. И. Втюрина (1969). Коренные породы промерзали эпигенетически, близ поверхности сильно трещиноваты, трещины обычно заполнены льдом. На тех участках, где коренные породы выходят на поверхность, лед по трещинам проникает до 50—75 м. Льдистость в верхних горизонтах близка к 10 -14%, уменьшаясь с глубиной до 3—4% и менее. Особенно велика льдистость в зонах дробления, на таких участках иногда образуются повторно-жильные льды, а трещинно-жильные льды местами образуют даже базальную криотекстуру. На Сихотэ-Алине был отмечен базальный ледцемент, цементировавший крупные глыбы базальта и туфа.

Склоновые отложения (делювиальные, солифлюкционные и смешанные делювиально-солифлюкционные) промерзали как эпигенетически, так и сингенетически. Льдистость данных отложений в среднем около 30%, но иногда достигает 70—80%. Нередко в отложениях наблюдаются повторно-жильные льды. По особенностям криогенного строения отличаются отложения крутых и пологих склонов. На крутых склонах скапливается грубообломочный материал, льдистость которого невелика; а в нижней части склона—мелкозем, где льдистость может достигать 20—30%, реже более, криотекстуры в основном слоистые. В делювиально-солифлюкционных отложениях, приуроченных к склонам малой и средней крутизны, а также к межгорным котловинам, преобладают слоисто-сетчатые криотекстуры, льдистость достигает 50%, особенно в межгорных котловинах, где в них формируются повторно-жильные льды (Каплина, 1969). Для данных отложений в северной половине региона характерен сингенетический тип криогенного строения (средняя объемная шлировая льдистость примерно 30%).

Высокая льдистость (30—50%) и сингенетический тип криогенного строения, по мнению Л. Н. Максимовой и А. Я. Литвинова (1969), у склоновых отложений юга Дальнего Востока.

Аллювиальные отложения в горных районах промерзали в северной половине региона как сингенетически, так и эпигенетически, на юге — эпигенетически. Русловые песчано-галечниковые фации малольдисты, в заиленных местах льдистость велика.

Пойменный горизонт в аллювии горных рек маломощный 1—3 м, представлен малольдистым песком с массивной криогенной текстурой. В долинах крупных рек и в межгорных впадинах, где мощность пойменного аллювия возрастает и состав становится алевритовым, льдистость его достигает 25—80% (долины рек Берелех, Пенжины, Уды, Амгуни и др.). Льдистость пойменного горизонта в Марковской впадине колеблется от 10—15% в песчаном аллювии до 40—50% в оторфованном суглинистом. Нередко в пойменной фации аллювия прослеживаются повторно-жильные льды.

Озерно-аллювиальные отложения, наиболее широко развитые на Яно-Колымской низменности, представлены главным образом пылеватыми супесями и суглинками. Промерзают они в основном сингенетически. Для данных отложений характерны высокая шлировая льдистость и наличие мощных сингенетических повторно-жильных льдов высотой до 40 м и шириной поверху 3—8 м. Только шлировая льдистость составляет от 30 до 70%. В среднем льдистость пылеватых суглинков 55—65%, а пылеватых супесей 45—50%. На долю повторно-жильных льдов иногда приходится 60—70% общего объема мерзлой толщи. Общая объемная льдистость весьма велика и варьирует от 40 до 95% (Труш, Нистратова, 1972). При протаивании таких высокольдистых пород происходят катастрофические просадки. Особым типом рыхлых отложений Яно-Индигирской и Колымской низменностей являются аласные. Они характеризуются элигенетическим промерзанием и слоисто-сетчатой толстошлировой криогенной текстурой. Верхние части озерных отложений промерзали, вероятно, сингенетически.

Данные по криогенному строению озерно-болотных отложений отсутствуют. Можно предположить (по аналогии с другими районами), что льдистость данных отложений велика. Очень высокая шлировая льдистость (от 20 до 50%) отмечается для суглинков, развитых на бугристых марях юга Дальнего Востока. К эпигенетически промерзшим толщам относятся отложения ледникового и морского комплекса осадков.

Среднеплейстоценовая морена малольдистая с массивной криогенной текстурой с отдельными гнездами и пленками льда на нижней поверхности гальки и валунов. Льдистость верхнеплейстоценовой морены примерно 10, реже 25—50% (правобережье Канчалапского лимана на Чукотке). В этой же морене прослеживаются повторно-жильные льды. Общая объемная льдистость ледниковых отложений превышает 50%.

Водно-ледниковые отложения (на отдельных участках не исключено локальное сингенетическое их промерзание) при валунно-гравийно-галечниковом составе имеют массивную криотекстуру, при песчаном с примесью пылеватой фракции — слоистую, реже сетчатую. Льдистость их мала, около 10% для песков.

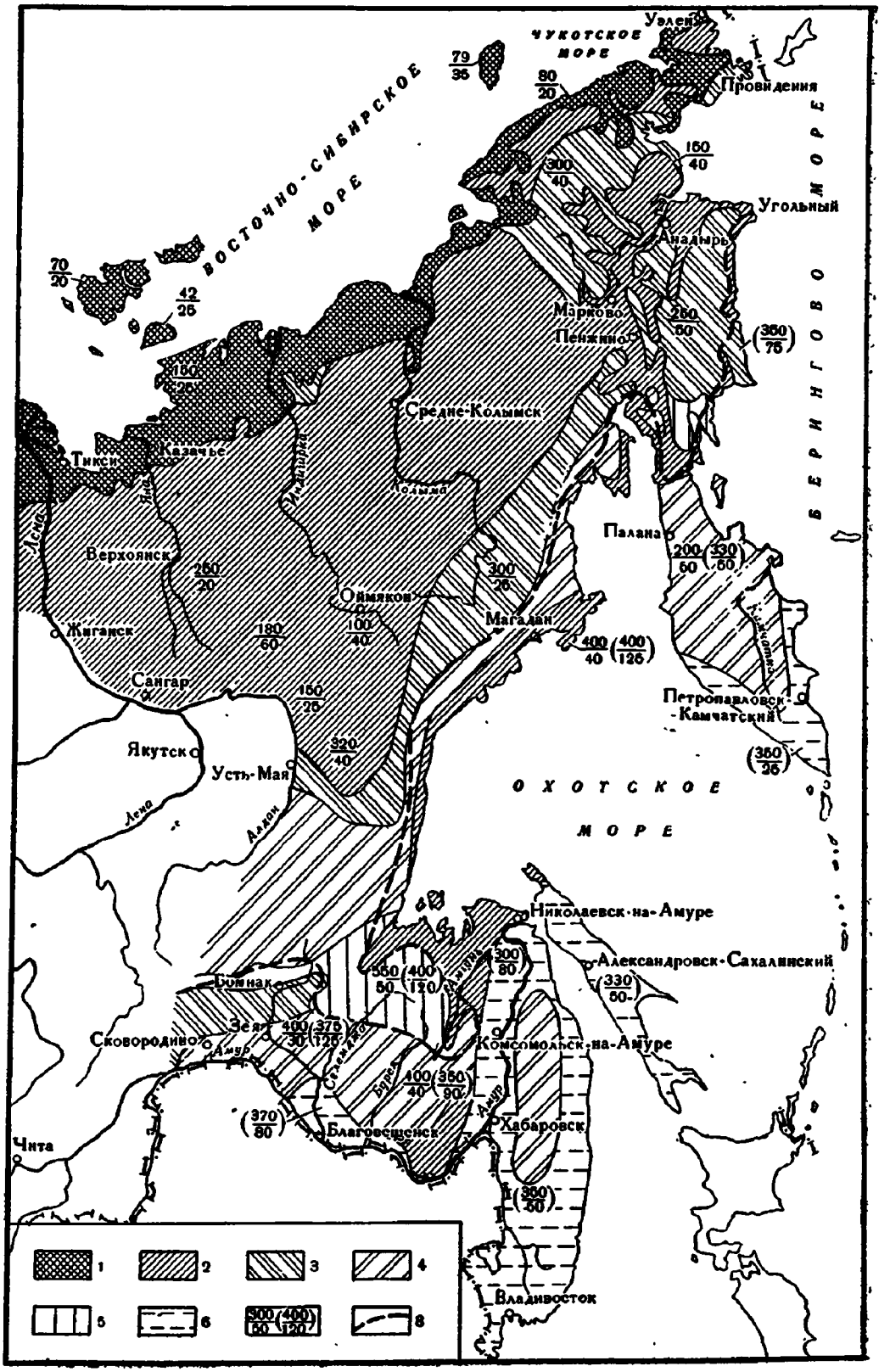
Озерно-ледниковые отложения при глинисто-супесчаном составе имеют слоистые, реже крупносетчатые толстошлировые криотекстуры. Льдистость их в среднем 40—70%, но может достигать 150%. При грубом составе криотекстура горизонтально-слоистая средне- и тонкошлировая, льдистость 10—30%.

Ледниково-морские отложения имеют высокую льдистость, постоянно уменьшающуюся с глубиной. В них формируются толсто- и тонкошлировые крупносетчатые криотекстуры, наблюдаются включения инъекционных и пластовых залежей льда.

Морские отложения залегают обычно на достаточно большой глубине, обезвожены и имеют в большинстве случаев массивную криогенную текстуру, несмотря на алевритовый состав. В пределах верхнеплейстоценовых морских отложений наблюдаются крупные пластовые залежи подземного льда.

Прибрежно-морские отложения голоценового возраста, развитые на северном и северо-восточном побережье, промерзают сингенетически, имеют сетчатую криотекстуру. Шлировая льдистость суглинистых отложений около 20—30%.

В пределах севера Дальнего Востока широко распространены залежи сегрегационного и инъектинного льда в виде ледяных ядер в


ЧУКОТСКОЕ МОРЕ
ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ МОРЕ
БЕРИНГОВО МОРЕ
ОХОТСКОЕ МОРЕ
Уэлен
Провидения
Угольный
Анадырь
Марково
Пенжино
Средне-Колымск
Тикси
Казачье
Верхоянск
Жиганск
Сангар
Оймякон
Магадан
Палана
Петропавловск-Камчатский
Якутск
Усть-Мая
Николаевск-на-Амуре
Александровск-Сахалинский
Комсомольск-на-Амуре
Хабаровск
Благовещенск
Сковородино
Зея
Бомнак
Чита
Владивосток
Лена
Алдан
Амур
Колыма
Индигирка
Яна
Зея
Бурея
Уссури
Анюй
Пенжина
Камчатка
1
2
3
4
5
6
8

сезонных и многолетних буграх пучения. В горной части распространены погребенные снежники. На крупные массы погребенных снежников (хр. Сунтар-Хаята) указывает М. М. Корейша (1963). Широко распространен в районе погребенный наледный лед в бассейнах рек Селенях, Индигирки и др. (Швецов, Седов, 1941; Калабин, 1960). Пластовые залежи внутригрунтового льда приурочены к верхним горизонтам ледниково-морских отложений III и IV террас или к контакту ледниково-морских суглинков с морскими отложениями II террасы в восточной части Чукотки.

Повторно-жильные льды распространены почти повсеместно и во всех генетических типах рыхлых отложений региона. Отсутствуют они лишь на участках развития грубозернистых слабольдистых пород, а также в самой южной части Дальнего Востока. По своему генезису повторно-жильные льды являются как эпигенетическими, так и сингенетическими.

Сезонное протаивание и промерзание грунтов находятся в зависимости от широтной зональности, высотной поясности, снежного и растительного покровов, рельефа, литологического состава грунтов и их увлажненности (рис. 9). Расчетные данные, произведенные В. П. Чернядьевым (1973), показывают, что удаление дернового покрова приводит к увеличению мощности сезоннопротаивающего слоя от 30 до 250%, а мохового — от 100 до 500%, причем наибольший эффект достигается на севере территории. Влияние древесной и кустарниковой растительности сказывается лишь косвенно через снегонакопление и условия затененности. Диапазон изменения мощности сезоннопротаивающего слоя от изменения увлажненности пород на участках, лишенных растительного покрова, и при наличии дернового покрова может доходить до 20%, а на участках с моховым покровом — до 60%. Чем больше влажность пород, тем меньше глубина протаивания. Минимальная мощность сезоннопротаивающего слоя возможна при достаточно увлажненном суглинистом грунте, а максимальная — при слабоувлажненном суглинистом, супесчаном и песчаном грунтах.

На глубину протаивания определенное влияние оказывает снежный покров. Согласно расчетам на участках с максимальным снегонакоплением мощность сезоннопротаивающего слоя может увеличиваться до 50%, а в среднем составляет 10—20%. На юге территории при прочих равных условиях влияние снежного покрова больше, чем на севере.

Влияние затененности (лес, густой кустарник и открытые участки) на мощность сезоннопротаивающего слоя на юге и на севере различно. На юге территории увеличение мощности сезоннопротаивающих пород открытых участков более значительно, чем на севере. При естественном снегонакоплении увеличение мощности сезоннопротаивающего слоя открытых участков составляет на севере не более 20%, а на юге — не более 10%.

Рис. 9. Схематическая карта мощности сезоннопротаивающего и сезоннопромерзающего слоя (мощности сезоннопротаивающего слоя, по Е. А. Втюриной, 1967). Область сезоннопротаивающих горных пород: 1 — менее 50 см; 2 — 50—100 см; 3 — 100—150 см; 4 — 150—200 см; 5 — 200—300 см. Область сезоннопромерзающих горных пород: 6 — зона мощностью от 50 до 375 см; 7 — максимальная (числитель) и минимальная (знаменатель) мощности сезоннопротаивающего слоя (в скобках — сезоннопромерзающего); 8 — южная граница области сплошного распространения сезоннопротаивающих горных пород

Определенную роль играет и сочетание условий прогрева и охлаждения. При минимальном прогреве дневной поверхности и максимальном охлаждении и уплотненном снежном покрове увеличение мощности сезоннопротаивающего слоя на открытых участках по сравнению с затененными может составлять 20—40%, а при максимальном естественном прогреве дневной поверхности и минимальном охлаждении увеличение мощности сезоннопротаивающего слоя на открытых участках по сравнению с затененными не превышает 5%. С уменьшением влажности грунтов влияние затененности на мощность сезоннопротаивающего слоя увеличивается.

В пределах площади распространения многолетнемерзлых пород на Дальнем Востоке, по Е. Л. Втюриной (1967), выделены пять зон с различной мощностью сезоннопротаивающего слоя (см. рис. 9). В пределах каждой из выделенных зон мощность сезоннопротаивающего слоя даже на небольших по площади участках весьма изменчива в зависимости от сочетания геолого-географических условий.

1. Зона с преобладающей мощностью сезоннопротаивающего слоя до 0,5 м. В зависимости от сочетания геолого-географических условий глубина сезонного протаивания в зоне может увеличиваться от 0,2 до 1,5 м.

2. Зона с преобладающей мощностью сезоннопротаивающего слоя 0,5—1 м. Значительные различия природных геолого-географических условий обусловливают большой диапазон изменения мощности сезоннопротаивающего слоя от 0,2—0,3 м на высокогорьях и в торфянниках до 2—3 м в грубообломочных породах в долинах рек и на обнаженных участках гор. С севера на юг в этой зоне возрастают количество и площадь участков, на которых мощность сезоннопротаивающего слоя превышает 1 м и реже встречаются участки с сезоннопротаивающим слоем мощностью менее 0,5 м.

3. Зона с преобладающей мощностью сезоннопротаивающего слоя 1—1,5 м имеет сравнительно локальное распространение. В грубозернистых грунтах и на южных склонах может наблюдаться глубина протаивания 2—3 м, в торфяниках — до 0,4 м. В этой зоне прослеживаются редкие острова сезоннопромерзающих пород.

4. Зона с преобладающей мощностью сезоннопротаивающего слоя 1,5—2 м. Сезоннопротаивающий слой чередуется здесь с частыми островами сезоннопромерзающего слоя. Как и в предыдущей зоне, здесь также возможны отклонения как в сторону большей, так и в сторону меньшей глубины протаивания.

5. Зона с преобладающей мощностью сезоннопротаивающего слоя 2—3 м распространена ограниченно в системе высокогорных хребтов юга Дальнего Востока, где мощность сезоннопротаивающего слоя колеблется от 0,8—2 м на пологих склонах со сфагиовыми болотами до 2,5—5 м на открытых склонах с уклонами от 25 до 55°.

Глубина промерзания грунтов (на территориях отсутствия многолетнемерзлых пород) в пределах Камчатки колеблется в зависимости от геолого-географических условий от 0,5 до 3,5 м. В прибрежной части Приморья 0,8—2,5 м, а в долине среднего течения р. Амура и низовьях его притоков Зеи и Буреи они достигают 3 м и более. В малоувлажненных песках и супесях глубина промерзания увеличивается до 4 м и более. По данным А. В. Стоценко, склоны северной экспозиции с углами наклона 5—15° промерзают на 20—25% глубже, а склоны южной экспозиции — на 10% меньше, чем горизонтальные поверхности.

Общие закономерности распространения, режима и изменения химического состава подземных вод

Подземные воды Дальнего Востока в процессе длительной истории развития претерпели значительные изменения. Тектоническая активизация в послегеосинклинальном периоде развития складчатых областей вызвала сильную литификацию и дислоцированность пород и уничтожила их первичную литогенетическую трещиноватость. Преобладание вертикальных неотектонических движений, приведших к воздыманию горных сооружений с последующим их интенсивным расчленением, обусловило преимущественно хорошую промытость гидрогеологических структур, а оживление древних и возникновение новых зон тектонической трещиноватости и дробления пород создали благоприятные условия для взаимодействия подземных и поверхностных вод. Все это не способствовало сохранению на Дальнем Востоке первоначальных седиментационных вод. Поэтому гидрогеологические особенности дальневосточной горной страны определяются в основном современной природной обстановкой этой территории.

В пределах Дальнего Востока условно выделяются две качественно отличные в гидрогеологическом отношении области, характеризующиеся специфическими условиями формирования и распространения подземных вод. Первая область охватывает в основном территорию Северо-Востока и характеризуется преобладающим (свыше 50—90%) распространением многолетнемерзлых пород (см. рис. 7). На юге к ней относятся высокогорные районы хребтов Тукурингра, Ям-Алинь и Буреинского, Верхне-Зейская и Буреинская впадины. Наличие мерзлоты определяет распределение и формирование подземных вод этой области. Ко второй области относятся Камчатка, Курильские острова и большая часть юга Дальнего Востока, включая Сахалин. Сюда же могут быть отнесены участки северного побережья Охотского моря южнее широты 60°.

Подземные воды Северо-Востока

На территории Северо-Востока распространены надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные воды.

Надмерзлотные воды по условиям залегания относятся к грунтовым. Они подразделяются на воды сезонноталого слоя и воды надмерзлотных таликов. Первые в теплый период года распространены повсеместно в различных по генезису четвертичных отложениях и в зоне выветривания коренных пород. Водоупором служат те же отложения в мерзлом состоянии. Длительность периода существования сезонноталого слоя и режим подземных вод подчиняются высотной поясности, которая в свою очередь накладывается на субширотную мерзлотно-гидрогеологическую зональность.

Первый (верхний) пояс охватывает водоразделы в зоне климата арктической пустыни и арктической тундры. Нижняя граница его совпадает с границей каменистых осыпей. В пределах пояса водовмещающими являются элювиально-делювиальные крупнообломочные образования. Мощность сезонноталого слоя составляет от нескольких сантиметров до 4—5 м. Питание подземных вод осуществляется за счет таяния снежников и ледников, инфильтрации осадков и конденсации паров

из воздуха. После выпадения обильных дождей воды залегают вблизи земной поверхности, но через несколько суток, а иногда даже часов водонасыщенные породы могут полностью осушаться. Быстрое осушение сезонноталого слоя происходит и с началом холодного периода. Длительность существования вод в верхнем поясе совпадает с продолжительностью периода питания и не превышает 2,5—3 мес (июнь—август) на Чукотке и 4,5 мес (июнь—сентябрь) в пределах Охотско-Колымского и Охотско-Ленского водоразделов.

Общая минерализация подземных вод не превышает 0,04 г/л. Состав гидрокарбонатный и хлоридно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый, реакция слабокислая. Свободная углекислота содержится в количестве до 15 мг/л. Температура воды не превышает 1—2°. Воды обладают выщелачивающей, общекислотной и углекислотной агрессивностью по отношению к бетону. На склонах они усиливают осыпеобразование и движение курумов.

Второй пояс захватывает горные склоны ниже границы каменистых осыпей. Водоносный слой заключен в элювиально-делювиальных крупнообломочных образованиях с песчаным, супесчаным, реже суглинистым заполнителем. Мощность изменяется от 0,5 до 6 м. При прочих равных условиях максимальная мощность отмечена на склонах южной экспозиции. Влияние экспозиции отчетливо проявляется только к югу от Северного полярного круга. Водопритоки в колодцы, пройденные в сезонноталом слое, составляют 0,2—0,8 л/с при понижениях уровня на 0,8—0,9 м. Питание подземных вод осуществляется за счет притока воды из верхнего пояса, инфильтрации дождевых осадков и конденсации паров из воздуха. Режим горизонта более стабильный, чем в верхнем поясе. Здесь, наряду с кратковременными, имеются источники, действующие в течение всего периода существования сезонноталого слоя. Дебит их составляет 0,01—3 л/с. После начала промерзания в нижних частях склона воды приобретают напор, иногда изливаются на поверхность. Полное промерзание водоносного горизонта происходит спустя 1—1,5 мес после окончания периода питания.

Состав вод хлоридно-гидрокарбонатный кальциево-натриевый, реже гидрокарбонатный натриево-кальциевый и кальциевый. Общая минерализация 0,04—0,08 г/л; реакция слабокислая; свободная углекислота присутствует в количестве до 17 мг/л. В водах часто содержится окисное железо до 1 мг/л. Специфический состав имеют воды на участках развития сульфидного оруденения. Они сульфатные, с минерализацией до 6 г/л; реакция кислая. Воды обладают выщелачивающей, общекислотной и углекислотной, а на участках сульфидной минерализации — сульфатной агрессивностью по отношению к бетону.

Летом они вызывают заболачивание выположенных участков склонов, солифлюкционные процессы и соскальзывание грунта по мерзлотному основанию. В начале зимы у подножий склонов образуются бугры пучения, наледи. Процессы солифлюкции, наледеобразования, пучения грунтов интенсивнее на склонах южной экспозиции.

Третий пояс распространения вод сезонноталого слоя охватывает приподошвенные части склонов и днища долин поверхностных водотоков. Водовмещающими являются породы аллювиального, делювиального, ледникового и пролювиального происхождения, состоящие из галечников, щебня, песков с прослоями суглинков, супесей и глин. Коэффициенты фильтрации пород 50—60 м/сут, в руслах водотоков достигают нескольких сот метров в сутки. Мощность водоносного горизонта к концу летнего периода в большинстве случаев 1—2 м, под руслами водотоков 4,5 м, а в крупноглыбовых развалах до 10 м. Питание горизонта

осуществляется за счет атмосферных осадков, талых вод и притока воды из верхних поясов. В течение всего летнего периода уровни подземных вод свободные. С началом зимнего промерзания воды приобретают временный напор. Благоприятные условия питания и относительно небольшие уклоны поверхности горизонта способствуют достаточно стабильному положению уровней в теплый период года. Глубина залегания подземных вод, как правило, не превышает 1 м. Вблизи русел водотоков воды образуют многочисленные источники, действующие в течение всего периода существования сезонноталого слоя. Дебит источников во время дождей 5—15 л/с, в межень — 0,01—1 л/с.

На режиме вод третьего пояса в значительной степени сказывается широтная климатическая зональность. Так, длительность периода питания надмерзлотных вод возрастает от 3 мес (июнь—август) на побережье Восточно-Сибирского моря до 5—5,5 мес (май—начало октября) на южных склонах Охотско-Ленского и Охотско-Колымского водоразделов. Продолжительность существования горизонта увеличивается в том же направлении от 4 до 9 мес. В отдельных углублениях в руслах рек, ручьев и на пологих склонах водоносные отложения могут не промерзать в течение зимы. Широтная зональность проявляется также в изменении средней мощности сезонноталого слоя от 0,5—0,7 м на побережье Восточно-Сибирского моря до 3 м на склонах Охотско-Ленского и Охотско-Колымского водоразделов.

Химический состав вод пояса большей частью хлоридно-гидрокарбонатный смешанный по катионам. Вблизи морских побережий воды хлоридные с минерализацией 0,04—0,1 г/л; реакция слабокислая и нейтральная; содержание свободной углекислоты до 27 мг/л, агрессивной — до 25 мг/л. На участках сульфидной минерализации и на площади распространения пиритоносных сланцев после прекращения периода питания могут образоваться сильнокислые сульфатные воды. Такие воды по отношению к бетону обладают резко выраженной общекислотной и сульфатной агрессивностью. Остальные воды имеют свойства выщелачивающей и общекислотной агрессивности, которые в данном поясе проявляются в меньшей степени, чем в вышележащих. В то же время в них возрастает углекислая агрессивность, что связано с влиянием растительности. Дополнительные количества углекислоты поступают и из почвы. При прочих равных условиях осенью углекислая агрессивность вод в 2—3 раза меньше, чем летом.

Рассматриваемые подземные воды в летнее время способствуют заболачиванию подножий склонов и днищ речных долин, развитию солифлюкции на склонах. В зимнее время напорные воды вызывают образование бугров пучения, наледей.

Четвертый пояс охватывает низины и впадины. Водоносный горизонт сложен аллювиально-делювиальными, ледниковыми, водно-ледниковыми, озерными и морскими преимущественно крупнообломочными отложениями. Коэффициенты фильтрации пород чаще не превышают 10 м/сут. Наиболее водопроницаемы аллювиальные и морские современные гравийно-галечниковые отложения, наименее — современные озерные и аллювиально-озерные образования, имеющие коэффициенты фильтрации не более 1 м/сут. Мощность водоносного горизонта к концу летнего периода в хорошо водопроницаемых породах составляет от 1 до 4 м в зависимости от широты местности. Наименьшая мощность до 0,1 м, не зависящая от широты местности, свойственна участкам распространения заиленных и глинистых пород. Питание подземных вод пояса осуществляется за счет инфильтрации осадков, таяния снега, льда, притока воды с гор. Уровни подземных вод в течение всего летнего пе-

риода располагаются вблизи земной поверхности. Это приводит к заболачиванию обширных низменных пространств. Исключение составляют бровки террас с благоприятными условиями дренирования и с глубиной залегания 1 м и более. Этот водоносный горизонт существует около 4 мес (июнь—сентябрь), во впадинах Тауйско-Тайгоносской системы — до 5—6 мес (май—октябрь).

Химический состав вод гидрокарбонатный натриевый с минерализацией 0,06—0,15 г/л. Вблизи морских побережий состав вод хлоридный магниево-натриевый с минерализацией до 3 г/л, а на морских косах и пляжах соответствует составу морской воды. Реакция слабокислая, pH 5,2—6,2; содержание свободной углекислоты достигает 120 мг/л из-за большого количества органических веществ в почвах. Воды обладают общекислотной и углекислотной агрессивностью по отношению к бетону. На морских побережьях при промерзании могут временно образоваться высококонцентрированные рассолы, обладающие сульфатной и магнезиальной агрессивностью. При замерзании водоносных отложений происходит морозное растрескивание почв, образование пятен-медальонов, пучение грунтов.

Надмерзлотные (несквозные) талики разделяются на подозерные, талики речных долин, конусов выноса, предгорий и плоскогорий.

Воды таликов речных долин приурочены к песчано-гравийно-галечниковым, реже супесчаным современным аллювиальным отложениям и к трещиноватым коренным породам зоны выветривания. В распространении таликов сказывается широтная климатическая зональность. При прочих равных условиях в южных районах (южнее 63° с. ш.) надмерзлотные устойчивые талики образуются под руслами водотоков с площадью водосбора около 10 км² и более. К северу от указанной широты площадь водосбора, необходимая для формирования таликов, составляет 25—100 км², а севернее 68° с. ш. — 1000 км². Площадь водосбора не играет решающей роли в долинах, где происходит разгрузка подмерзлотных вод. Водоносные талики наиболее широко развиты в пойменной части долин. Кроме того, они наблюдаются под погребенными протоками и староречьями, оживающими в период высоких половодий.

Ширина талнков увеличивается вниз по долине и обычно близка к ширине современной поймы. Средняя мощность таликов, включая слой сезонного промерзания, в верховьях рек около 5 м, в среднем течении 15—17 м и в нижнем — 23—30 м. Зимой живое сечение талика из-за падения уровня вод или промерзания постепенно уменьшается. Промерзание начинается в октябре и наиболее интенсивно развивается в ноябре—январе. Глубина сезонного промерзания 2—5 м. На участках с меньшей мощностью талика возникают мерзлотные перемычки, разделяющие водоносный талик на ряд изолированных участков. Такие явления наиболее характерны для верховьев рек.

Водопроницаемость пород, слагающих талики речных долин, различна. Как правило, сверху залегают отмытые гравийно-галечные отложения с коэффициентом фильтрации 200—600 м/сут, с глубиной водопроницаемость падает до 3—5 м/сут. В долинах рек низменностей в связи с малыми скоростями движения поверхностных вод может происходить кальматация верхней части аллювиальных отложений илистыми наносами. В этом случае будет наблюдаться возрастание коэффициента фильтрации пород с глубиной. Летом уровни вод таликов свободные. Глубина залегания их изменяется от нуля (вблизи русла) до 3—4 м (на пойме). С наступлением зимнего периода и образованием слоя сезонного промерзания поведение уровня определяется условиями питания горизонта.

В таликах речных долин с круглогодичным поверхностным стоком уровень подземных вод регулируется уровнем воды в реке. На участках, сложенных хорошо проницаемыми породами, со значительным уклоном скорость падения уровней постоянно опережает скорость промерзания и уровни подземных вод остаются свободными. При небольшом уклоне долины таликовые воды становятся напорными, иногда изливаются на поверхность по морозобойным трещинам и по искусственным выработкам.

В таликах речных долин с периодическим поверхностным стоком можно выделить три типа уровенного режима.

1. После прекращения поверхностного стока начинается прогрессирующее падение уровня вод талнков, которое продолжается до начала таяния снега и составляет в среднем 7—8 м. Уровни таликовых вод обычно свободные. Это характерно для речных долин каньонообразной формы, в пределах которых воды сезонноталого слоя относятся в основном к первому и второму горным поясам. Запасы этих вод весьма незначительны и единственным источником их питания являются поверхностные воды. Поэтому после прекращения поверхностного стока происходит постоянная сработка статических запасов подземных вод. С началом таяния снега уровни и расходы подземных вод быстро увеличиваются и достигают максимума в период половодий.

2. После прекращения поверхностного стока и начала промерзания уровни подземных вод таликов начинают повышаться и воды становятся напорными. Наивысший уровень иногда устанавливается на 2—3 м выше поверхности земли. После достижения максимума начинается снижение уровня, которое продолжается до конца зимнего периода. При понижении уровня ниже подошвы слоя сезонного промерзания воды становятся безнапорными. Такое поведение уровней свойственно водам талнков речных долин корытообразной формы с пологими склонами. Воды сезонноталого слоя таких долин относятся в основном к третьему поясу, и с наступлением зимы они продолжают пополнять запасы вод таликов. В долинах образуется временный водонапорный бассейн, продолжительность существования которого зависит от мощности сезонноталого слоя, запасов воды в нем, скорости промерзания пород, площади бассейна. В отдельных случаях нарастание напоров может происходить до февраля—марта.

3. После прекращения поверхностного питания и полного промерзания сезонноталого слоя уровни и расходы подземных вод снижаются до определенной величины и далее стабилизируются. Этот случай возможен в долинах водотоков, в которых происходит разгрузка подмерзлотных вод. Уровни и расходы воды в надмерзлотном талике стабилизируются до величины, соответствующей производительности очага разгрузки глубоких вод. Чаще всего это происходит в феврале—марте.

Химический состав надмерзлотных вод таликов речных долин обычно гидрокарбонатный кальциевый. Минерализация вод 0,1—0,15 г/л; реакция слабокислая, pH 6—6,9; содержание агрессивной углекислоты достигает 90 мг/л. В бассейнах рек Индигирки и Колымы установлено увеличение минерализации вод при промерзании таликов в 2—5 раз по сравнению с летним периодом. При этом в воде увеличивается содержание сульфат-иона и окисного железа. Воды обладают выщелачивающей, общекислотной и углекислотной агрессивностью по отношению к бетону. В зимний период в отдельных случаях появление окисного железа может вызвать осложнения при эксплуатации водопроводов (пос. Иультин).

Из инженерно-геологических процессов, вызываемых подземными водами таликов речных долин, наиболее важным является наледеобразование. В зимнее время в речных долинах образуются бугры пучения и полыньи. Последние, как и наледи, осложняют устройство зимников по речному льду. Летом в местах сосредоточенных выходов подземных вод может происходить разуплотнение водоносных отложений. Несущая способность таких грунтов весьма мала, что необходимо учитывать при устройстве переправ.

Воды подозерных таликов изучены слабо. Талики в основном образуются под озерами глубиной более 2—3 м, непромерзающими до дна. Площадь таликов совпадает с площадью озера или несколько превышает ее, составляя в большинстве случаев 2—3 км^2. Водоносными являются песчано-гравийно-галечниковые отложения волно-ледникового, озерно-аллювиального или аллювиального происхождения. Мощность водоносных пород достигает 20—40 м. Коэффициенты фильтрации отложений в среднем около 10 м/сут, в отдельных случаях 50—70 м/сут. Питание подозерных таликов осуществляется за счет вод озера и частично надмерзлотных вод сезонноталого слоя. Уровень, температура и химический состав вод подозерных таликов в течение года претерпевают относительно небольшие изменения.

Минерализация вод подозерных таликов не превышает 0,3 г/л. Воды гидрокарбонатные кальциево-натриевые или натриево-кальциевые мягкие; реакция слабокислая, pH 5,8—6,2; содержание свободной углекислоты достигает 70 мг/л, агрессивной — 30 мг/л. Воды обладают выщелачивающей, общекислотной и углекислотной агрессивностью по отношению к бетону. В прибрежно-морской полосе воды подозерных таликов могут быть хлоридного натриево-магниевого состава с минерализацией до 10 г/л и более. В этом случае возможна их сульфатная и магнезиальная агрессивность.

Воды таликов конусов выноса широко развиты на юге рассматриваемой территории, в зоне прерывистого распространения мерзлоты. Водоносными являются грубообломочные делювиальные, пролювиальные и ледниковые образования четвертичного возраста. Мощность обводненных таликов в летнее время достигает 30—40 м. Коэффициент фильтрации отложений изменяется от 60—70 до 300—500 м/сут. Удельные дебиты колодцев составляют 1,7—3,9 л/с. Питание таликовых вод осуществляется за счет вод сезонноталого слоя, поверхностных вод и атмосферных осадков. В летнее время глубина залегания вод 0,5—0,8 м от поверхности земли. После прекращения питания уровень их быстро снижается в первые дни (скорость до 2 м/сут). Весенний подъем уровней происходит также весьма интенсивно. В течение всего года уровни, как правило, остаются свободными.

Минерализация вод не превышает 0,2 г/л и только вблизи морского побережья достигает 0,9 г/л. Воды хлоридно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые, слабокислые и нейтральные. Обладают выщелачивающей, общекислотной и углекислотной агрессивностью. В летнее время они вызывают заболачивание подножий конусов выноса. Зимой образуют наледи.

Воды таликов предгорий и плоскогорий практически не изучены. Талики у подножий гор характерны для восточных склонов Корякского нагорья, южных склонов Охотско-Колымского и Охотско-Ленского водоразделов. Они образуются у склонов южной экспозиции в местах скопления мощного снежного покрова, предохраняющего породы от промерзания. Водоносными являются грубообломочные делювиально-коллювиальные образования с высокими фильтрационными свойствами.

Мощность таликов 5—10 м. Питание подземных вод осуществляется за счет притока воды с гор. Глубина залегания воды летом от 0,5 до 4 м.

На плоскогорьях талики возможны в древних долинах, где мощность аллювиальных гравийно-галечниковых отложений достигает 20 м и более. В этих отложениях при наличии даже незначительного водного потока могут сохраняться надмерзлотные талики. Химизм вод не изучен.

Межмерзлотные воды. Эти воды подразделяются на воды сквозных и реликтовых таликов и межмерзлотных горизонтов.

Водоносные сквозные талики разделяются на водовыводящие и водопоглощающие. Некоторые талики могут быть водопоглощающими летом и водовыводящими зимой. По сквозным таликам осуществляется взаимосвязь надмерзлотных и подмерзлотных вод.

Реликтовые подозерные талики установлены в Анадырской низменности. Как правило, они замкнутые. Водопосные породы (пески иловатые с примесью гальки и гравия) залегают на глубине 6—10 м. Мощность их 2 м и более. Воды напорные и часто самоизливаются из скважин. В начальный период дебит самоизлива 0,5—1 л/с, затем падает до нуля. Реликтовые талики речных долин, конусов выноса распространены в долинах горных рек с большой мощностью рыхлых отложений. Водовмещающими являются аллювиальные и пролювиальные отложения, в отдельных случаях трещиноватые коренные породы. Глубина залегания межмерзлотных вод 8—10, иногда 30 м. Мощность талых отложений от нескольких до 25 м. В замкнутых таликах воды находятся в условиях застойного режима. В таликах, связанных с надмерзлотными водами, летом межмерзлотные воды напорные, зимой их уровень падает и может перейти в свободное состояние.

Воды хлоридно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые или натриевые, с минерализацией до 3 г/л, нейтральные или слабощелочные, обладают углекислотной агрессивностью. На площади распространения засоленных отложений в реликтовых подозерных таликах могут формироваться высокоминерализованные воды хлоридного натриево-магниевого состава. Для таких вод свойственна магнезиальная агрессивность.

Межмерзлотные водоносные горизонты встречены на низменных участках побережья северных морей. Водоносными являются морские иловатые песчано-галечниковые породы четвертичного возраста. Глубина залегания вод до 8 м. Воды напорные. Минерализация вод высокая (50—250 г/л), состав хлоридный, кальциево-натриевый и натриево-магниевый, температура от —1,5 до —6°. Для этих вод характерна магнезиальная и сульфатная агрессивность.

С межмерзлотными водами связано развитие наледей и полыней в местах расположения сквозных водовыводящих таликов. При промерзании реликтовых замкнутых таликов образуются многолетние бугры пучения (булгунняхи).

Подмерзлотные воды. Условия их распространения и формирования во многом определяются структурно-гидрогеологическими особенностями.

В бассейнах трещинных вод горных массивов и вулканогенных супербассейнах формирование подмерзлотных вод зависит от прерывистости мерзлой зоны и соотношения ее мощности с мощностью зоны региональной трещиноватости. Н. И. Толстихин и О. Н. Толстихин (1973) намечают следующий ряд структур с различными мерзлотными условиями:

1. Мощность прерывистой мерзлой зоны преимущественно меньше мощности зоны выветривания. Эти условия характерны для южных окраин Охотско-Чукотской области вулканогенных супербассейнов и сис-

темы горных массивов хр. Олюторского. Питание подмерзлотных вод происходит по сквозным таликам на водоразделах и в верхних частях склонов, что обусловливает их напорный характер. Глубина вскрытия вод до 100 м. Водообильность довольно велика, удельные дебиты скважин при самоизливе около 1 л/с. Воды пресные с минерализацией 0,04—0,1 г/л, хлоридно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые или кальциево-натриевые, нейтральные, реже слабокислые; обладают слабо выраженной выщелачивающей и общекислотной агрессивностью.

2. Мощность слабопрерывистой мерзлой зоны меньше мощности зоны региональной трещиноватости. Примерами таких структур служат массив Черского, некоторые массивы Корякии и южного побережья Чукотки. Питание и разгрузка подмерзлотных вод обеспечиваются по сквозным таликам в речных долинах. Характерны концентрированные высокодебитные источники, приуроченные к речным долинам или предгорьям. Удельные дебиты скважин малы и не превышают сотых долей литра в секунду. Воды напорные. Их уровень в течение года колеблется с амплитудой до 10 м. Состав вод хлоридно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый. Минерализация 0,08—0,25 г/л. Воды нейтральные или слабощелочные, в районах сульфидных рудопроявлений кислые сульфатные с минерализацией до 3 г/л. Воды в большинстве случаев неагрессивные, только в районах сульфидной минерализации обладают общекислотной агрессивностью.

3. Мощность слабопрерывистой мерзлой зоны больше мощности зоны региональной трещиноватости и значительно превышает глубину расчлененности рельефа. Примером таких структур является Верхне-Янский массив и массивы Чукотки, где водоразделы дренированы и проморожены. Подземные воды сосредоточены в речных долинах, в трещиноватой зоне морозного выветривания пород. Воды напорные. Глубина их залегания в речных долинах достигает 150 м. Пьезометрические уровни часто превышают поверхность земли. Удельные дебиты скважин от 0,01 до 0,8 л/с. Воды с минерализацией до 0,1 г/л, хлоридно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые, нейтральные или слабокислые. В пределах сульфидных месторождений формируются сильнокислые воды. Воды обладают в основном выщелачивающей агрессивностью, в редких случаях общекислотной.

4. Мощность сплошной мерзлой зоны многократно превышает мощность зоны региональной трещиноватости; сквозные талики отсутствуют. Такие условия установлены в некоторых массивах Анюйско-Чукотской складчатой области и предполагаются в высокогорных массивах, сложенных интрузивными породами. Воды приурочены к трещинам тектонического происхождения, которые из-за большой глубины залегания мало раскрыты и часто выполнены тектонической глиной. Водоносность пород ничтожна, удельные дебиты скважин обычно меньше 0,001 л/с. В этих условиях формируются (за счет мерзлотного концентрирования солей) отрицательно температурные соленые воды и рассолы с минерализацией до 100 г/л. Воды хлоридные натриево-кальциевые или магниевые, слабокислые, pH 5,7—6,4, являются магнезиально- и общекислотно-агрессивными. При мерзлотном концентрировании сульфатных вод в зонах сульфидной минерализации могут сформироваться рассолы, обладающие сульфатной агрессивностью.

В *адартезианских бассейнах* наряду с трещинно-жильными большую роль играют пластово-трещинные воды зон кливажа или рассланцевания. Гидрогеологическая роль трещин выветривания невелика, что объясняется широким развитием глинистых сланцев, дающих при гипергенных процессах тонкообломочный материал, кальмати-

рующий трещины. Подмерзлотные воды чаще всего контактируют с подошвой мерзлой зоны, но на водоразделах уровни их могут быть свободными. Наибольшая водоносность у зон тектонических разломов. Удельные дебиты скважин в них равны 0,1—0,5 л/с. Водоносность пород с пластово-трещинными водами в десятки и сотни раз меньше.

Подмерзлотные воды гидрокарбонатные, реже сульфатно-гидрокарбонатные, натриевые, кальциево-натриевые с минерализацией до 3 г/л, обладают слабой общекислотной агрессивностью. Местами пластово-трещинные воды содержат до 300 мг/л свободной углекислоты и до 6 мг/л закисного железа. Такие воды формируются в условиях восстановительной среды и являются углекислотно-агрессивными. В пределах сульфидных месторождений в результате мерзлотного концентрирования образуются сульфатные рассолы с минерализацией до 76 г/л, обладающие сульфатной агрессивностью.

В артезианских бассейнах подмерзлотные воды заключены в основном в рыхлых кайнозойских отложениях и имеют порово-пластовый тип циркуляции. Реже они приурочены к породам мелового возраста и носят трещинно-пластовый или порово-трещинно-пластовый характер.

Водоносность пород обычно невелика. Преобладающие коэффициенты фильтрации равны 1—3 м/сут, удельные дебиты скважин составляют десятые-сотые доли литра в секунду. Повышенной трещиноватостью и обводненностью обладают меловые породы в зонах разломов, в сводах антиклинальных складок и на контакте с подошвой мерзлой зоны. Коэффициенты фильтрации здесь достигают 10, иногда 30 м/сут, удельные дебиты скважин превышают 1 л/с. Наиболее благоприятные условия питания подмерзлотных вод отличают мезозойские артезианские бассейны, расположенные в южной части зоны прерывистой мерзлоты, где имеются водопоглощающие талики как в долинах рек, так и на склонах и вершинах водоразделов. В кайнозойских бассейнах сквозные водопоглощающие талики очень редки.

Подмерзлотные воды имеют в основном минерализацию до 3 г/л, состав гидрокарбонатный или хлоридно-гидрокарбонатный кальциево-натриевый. Преобладают глеевые воды восстановительной обстановки, характеризующиеся углекислотной агрессивностью. Воды мезозойских бассейнов часто неагрессивны. На участках, подвергавшихся четвертичной трансгрессии, подмерзлотные воды бассейнов солоноватые и соленые. В пределах зоны сплошной мерзлоты мощностью до 200 м могут залегать отрицательно температурные соленые и рассольные воды с минерализацией 80—150 г/л. Этим водам свойственна магнезиальная агрессивность.

Подземные воды юга Дальнего Востока и Камчатки

Основным элементом климата, определяющим гидрогеологические особенности этой области, является муссонный характер выпадения дождей, которому свойственна цикличность и большая неравномерность по годам и сезонам. При попеременном чередовании сухих и чрезмерно влажных периодов Дальний Восток в целом характеризуется преобладанием увлажнения над испарением (коэффициент увлажнения более 1, а на Камчатке и Курильских островах до 6—8,6). Обильные летне-осенние дожди (около 0,025 мм/мин) обусловливают скопление на по-

верхности значительных количеств влаги, их застаивание в понижениях рельефа, следствием чего является переувлажнение грунтов зоны аэрации на больших площадях. На юге Дальнего Востока переувлажнению способствуют также широкое распространение пологих форм рельефа с уклонами менее 0,001 и незначительный врез речных долин при больших амплитудах колебания уровня поверхностных вод, в результате чего обширные площади затапливаются паводковыми водами.

Существенное значение имеет наличие островной многолетней и сезонной мерзлоты, препятствующих инфильтрации талых и атмосферных вод в весенне-летний период. Медленное оттаивание сезонной мерзлоты, продолжающееся до конца июля—начала августа, не только прямо приводит к переувлажнению верхних почвенных горизонтов, но и косвенно способствует этому, обусловливая обеструктуривание почв и ухудшение их фильтрационных свойств.

Активное участие в переувлажнении грунтов зоны аэрации принимают грунтовые воды и верховодка, залегающие на глубинах не более 2 м. В периоды обильного атмосферного питания уровни их повышаются и зачастую они выходят на поверхность. В понижениях рельефа, западинах происходит переувлажнение почв в межень за счет капиллярных вод, подходящих близко к поверхности. В предгорных районах большое значение имеет поверхностный и подземный сток с гор. На этих участках происходит разгрузка подземных потоков с образованием многочисленных источников, мочажин.

В результате переувлажнения на Дальнем Востоке широко распространены обводненные торфяники мощностью 1,5—3 м и более. В них заключены **болотные воды**, которые в периоды интенсивных дождей залегают с поверхности. В засуху уровень болотных вод снижается до 1 м ниже поверхности земли. Амплитуда колебания уровня составляет 0,5—1,5 м. Зимой торфяники полностью промерзают. Водопроницаемость их с глубиной уменьшается от 0,9 до 0,05 м/сут. Водопритоки в шурфы в верхней части торфяной залежи составляют до 0,1 л/с, в нижней — 0,003—0,05 л/с.

Следствием периодического переувлажнения грунтов является широкое распространение в е р х о в о д к и. В межгорных впадинах юга Дальнего Востока верховодка заключена в основном в суглинках и глинах озерного и озерно-аллювиального генезиса. На Камчатке она широко развита на равнинах и террасах, сложенных с поверхности супесями и суглинками. В. М. Пискуном (1964) установлено, что наиболее деятельно во влагообмене с атмосферой участвует лишь самый верхний слой грунта мощностью до 1 м. В более глубоких слоях естественная влажность грунтов, как правило, не бывает ниже величины их наименьшей влагоемкости. Это создает условия для образования гравитационной воды. Характерны слоистость грунтов зоны аэрации и резкое ухудшение их водопроницаемости ниже пахотного слоя. Коэффициент фильтрации верхних взрыхленных почвенных слоев составляет 0,2—3 м/сут, в нижних плотных слоях он уменьшается до 0,01—0,001 м/сут. Это благоприятствует скоплению верховодки в верхней части зоны аэрации, вблизи от поверхности земли. В летнее время при интенсивности дождей около 5 мм/сут верховодка устанавливается на глубине 0,5—2,5 м от поверхности. После ливней уровень ее повышается и зачастую она выходит на поверхность, вызывая образование болот. Через 1—1,5 мес после прекращения сезона дождей верховодка, как правило, исчезает. Весной и в начале лета происходит формирование верховодки на сезонномерзлых грунтах. В этом случае она исчезает при оттаивании мерзлоты в июле — августе.

Следствием периодического появления верховодки в зоне аэрации является неожиданное обводнение строительных площадок, на которых при изысканиях в межевые периоды подземные воды не обнаруживались. Это приводит к систематическому отсыреванию цокольных этажей зданий, к просачиванию верховодки в подвальные и полуподвальные помещения. Во Владивостоке, Уссурийске, Артеме, Партизанске и других городах известны случаи затопления подвалов внезапно прорвавшейся верховодкой.

Другим распространенным типом верховодки на Дальнем Востоке являются временные подземные потоки, образующиеся в периоды дождей на склонах гор в делювиальных, элювиально-делювиальных и пролювиальных отложениях. Это так называемые воды приповерхностного стока, представляющие собой своеобразную верховодку горных районов. Приповерхностные потоки существуют в течение 15—20 сут после выпадения дождей. У подножий склонов эти воды выходят на поверхность в виде родников с дебитами до 1—3 л/с, обусловливая переувлажнение и заболачивание присклоновых территорий.

Основным источником питания верховодки являются атмосферные осадки, поэтому она сохраняет некоторые химические особенности атмосферных вод. Наиболее близкий к атмосферным осадкам состав у вод приповерхностного стока высокогорных районов, где происходит быстрый водообмен. В горах с отметками более 1500 м минерализация воды 0,15—0,025 г/л. С понижением рельефа и уменьшением крутизны склонов минерализация увеличивается. На высотах 800—1500 м она повышается до 0,035 г/л, а на высотах 300—800 м при пологих формах рельефа — до 0,04 г/л. Следует, однако, учитывать, что сами атмосферные воды существенно изменяют свою минерализацию и состав во времени, что непосредственно отражается на водах приповерхностного стока. Летом, когда воздушные массы направлены с моря на сушу, минерализация вод возрастает в 1,5—2 раза по сравнению с зимним периодом. Состав воды приповерхностного стока обычно гидрокарбонатный натриево-кальциевый, на Камчатке и Курильских островах на склонах вулканов—сульфатно- или хлоридно-гидрокарбонатный. В целом верховодка горных склонов представляет собой слабоконцентрированные растворы, обогащенные кислородом и углекислотой воздуха, в связи с чем характеризуется сильной степенью выщелачивающей и углекислотной агрессивности по отношению к бетону. На равнинных участках формирование химического состава верховодки происходит под влиянием гидрохимических процессов, протекающих в почвах и грунтах.

Грунтовые воды в пределах рассматриваемой области развиты повсеместно. В артезианских бассейнах мезокайнозойских и кайнозойских впадин и прогиб они заключены в рыхлых плиоценовых и четвертичных отложениях преимущественно аллювиального, озерно-аллювиального и озерного генезиса. Это воды порового типа, образующие горизонт мощностью от нескольких метров до 220 м. Подошвой горизонта служат олигоцен-миоценовые, реже четвертичные глины, или породы кристаллического фундамента. В кровле обычно присутствует прерывистый глинистый водоупор мощностью от 1—2 м до нескольких десятков метров. На речных поймах водоупорная кровля, как правило, отсутствует. На надпойменных террасах мощность ее обычно не превышает 10 м. Максимальная мощность кровли (до 40—60 м) отмечена на озерных и озерно-аллювиальных равнинах Средне-Амурского и Приханкайского бассейнов.

Уровень вод свободный, иногда обладает местными напорами величиной 2—10, редко до 30—70 м. В Амуро-Зейском и некоторых других

бассейнах под многолетнемерзлыми породами воды приобретают напор до 20—70 м. Глубина залегания уровня определяется рельефом местности. Ближе всего от поверхности земли на глубине 0,5—2 м воды располагаются на речных поймах, только на высокой пойме Амура — до 15 м. Благодаря близкому залеганию от поверхности они активно способствуют заболачиванию пойм. На надпойменных террасах глубина залегания вод до 30 м, на высоких террасах Амура достигает 55 м; в пределах междуречий, на озерно-аллювиальных и озерных равнинах уровень грунтовых вод на глубине 10—70 м.

Воды пойм характеризуются приречным типом режима. Частые паводки на реках вызывают быстрый подъем их уровня вплоть до выхода вод на дневную поверхность. Амплитуда колебания уровня с удалением от реки уменьшается. Так, на пойме Амура она составляет близ русла 5—6 м (при амплитуде колебания уровня в реке 7—8 м), а на границе с надпойменными террасами — 2—3 м. В долинах более мелких рек колебания уровня вод 1—4 м. На надпойменных террасах и междуречьях колебания уровня грунтовых вод значительно меньше (0,35—1, редко до 2 м) — междуречный тип режима. Вблизи морских побережий на положении уровней сказывается влияние приливов и отливов. Так, ежесуточные колебания уровней вблизи Охотска 0,4—1 м, на побережье залива Корфа — 1,5—2 м. Поскольку эксплуатация подземных вод на преобладающей территории Дальнего Востока ведется в незначительном количестве, она, как правило, практически не влияет на естественный режим грунтовых вод. Лишь на участках крупных водозаборов (с расходами в 10 тыс. м^3/сут и более) наблюдается увеличение годовых амплитуд колебания уровней. В пределах крупных городов образуются значительные депрессионные воронки. В частности, Южно-Сахалинский рассредоточенный водозабор образует воронку с радиусом влияния в зимнюю межень до 7 км и с эксплуатационным понижением до 5 м. Глубина депрессионной воронки в районе Хабаровского водозабора 3 м, в Комсомольске-на-Амуре — 26 м, в Благовещенске — 50 м.

Водообильность горизонтов грунтовых вод, как правило, значительная и изменяется в широких пределах в зависимости от состава вмещающих пород. Преобладающие коэффициенты фильтрации отложений составляют 1—25 м/сут, преобладающие дебиты скважин — 2—20 л/с при понижениях уровня до 10 м. Наибольшие водопритоки в выработки отмечались в крупнообломочных образованиях русловых фаций аллювия Амура и Уссури, водопроницаемость которых достигает 150—200 м/сут. Максимальные дебиты скважин в Комсомольске-на-Амуре составили 100 л/с при понижении уровня на 4—5 м. Сравнительно слабой обводненностью характеризуются иловатые, глинистые пески и супеси пойменных и озерных фаций с коэффициентами фильтрации 0,1—1 м/сут и дебитами скважин не свыше 1—1,5 л/с.

В пределах артезианского бассейна Северо-Сахалинского кайнозойского прогиба основными водосодержащими породами являются неогеновые и четвертичные пески морского и континентального генезиса, которые характеризуются высокой фильтрационной способностью. Коэффициент фильтрации их изменяется от 0,2 до 55 м/сут в зависимости от гранулометрического состава. Грунтовые воды образуют горизонт мощностью до 50, а местами до 100 м. Водоупор в его кровле, как правило, отсутствует, за исключением участков прибрежных террас, где пески перекрыты маломощными суглинками и глинами с развитыми на них торфяниками. Уровень вод обычно свободный, располагается на глубине от долей метра в долинах до 20—

40 м на водоразделах. Амплитуда колебания уровня в годовом цикле не превышает, как правило, 1 м, несколько увеличиваясь лишь в пределах гряд. Дебиты скважин, вскрывших горизонт, составляют от 0,5 до 18 л/с при понижениях на 1—13 м.

В бассейнах трещинных вод горных массивов, вулканогенных супербассейнах, адартезианских и артезианских бассейнах мезозойских прогибов грунтовые воды заключены в интенсивно литифицированных, консолидированных осадочных, метаморфических и магматических породах различного возраста, коллекторские свойства которых определяются степенью их эндогенной и экзогенной трещиноватости. Воды приурочены к зоне активной региональной трещиноватости, формирующейся в приповерхностной части пород в процессе их разуплотнения и выветривания. Мощность этой зоны изменяется от 20 до 150 м в зависимости от состава пород и рельефа местности. При прочих равных условиях наименьшая мощность (не превышающая 35 м) отмечается на водоразделах, от которых она постепенно увеличивается к склонам до 80 м и к долинам до 100—150 м. Мощность трещиноватой зоны и характер ее обводненности в значительной мере зависят от степени эрозионной расчлененности горного массива или бассейна. Глубоко расчлененные массивы, такие, как Сихотэ-Алинь, Малкинский и Восточный (на Камчатке), характеризуются сравнительно небольшой мощностью (не свыше 70 м) и весьма неравномерной обводненностью верхней трещиноватой зоны. Сильная расчлененность рельефа способствует быстрому поверхностному и подземному стоку, что приводит к дренажу водоразделов и аккумуляции подземных вод в речных долинах и межгорных впадинах. Таким образом, в интенсивно расчлененных горных массивах грунтовые трещинные воды не образуют горизонта непрерывного распространения, а рассредоточены по отдельным бассейнам стока в виде грунтовых потоков мощностью 10—70 м, приуроченных к речным долинам. Глубина залегания вод изменяется от нескольких метров в днищах долин до 15—50 м на склонах.

В пределах слабо расчлененных и пенепленизированных массивов и бассейнов обводненность верхней трещиноватой зоны значительно более равномерная. Здесь формируется горизонт грунтовых трещинных вод мощностью от 10—40 м на водоразделах до 100—150 м в долинах. Глубина их залегания возрастает от долин к водоразделам от нескольких метров до 100 м и более. В отдельных случаях водоразделы могут быть сдренированы. Уровень вод свободный, иногда слабонапорный с напором до 30 м. Колебания уровня в годовом цикле резкие и значительные. На водоразделах они достигают 20—30 м (причем пики подъема совпадают с периодами выпадения интенсивных летних осадков), на склонах подъем уровня несколько запаздывает и достигает 12—17 м. Водопроницаемость трещиноватых пород в целом ухудшается с глубиной. Как правило, до глубины 3—5 м коэффициенты фильтрации составляют 1—5 м/сут, ниже они уменьшаются до десятых и сотых долей метра в сутки. В зонах разломов и в закарстованных известняках водопроницаемость достигает 10—15 м/сут. Расходы источников колеблются обычно от 0,01 до 25 л/с, достигая наибольших значений в зонах тектонических нарушений и в закарстованных известняках. В пределах вулканогенных супербассейнов Камчатки отмечаются родники с дебитами до 200—1400 л/с и пластовые выходы вод с дебитами до 4000 л/с. Дебиты скважин изменяются от 0,01 до 14 л/с, чаще 0,1—1 л/с.

Грунтовые воды Дальнего Востока формируются в зоне свободного водообмена при отсутствии легкорастворимых солей в составе водосо-

держащих пород, поэтому они слабоминерализованы. Лишь на морских побережьях сказывается влияние моря: в прибрежной полосе шириной до 1,5 км наблюдается смешение пресных подземных и соленых морских вод. При откачках в этой полосе зачастую происходит подсос соленых вод в выработки. В большем удалении от моря в равнинных районах отмечается засоление грунтовых вод за счет эолового переноса морской воды.

Для Дальнего Востока, как для любой горной страны, характерно проявление высотной химической поясности грунтовых вод, обусловленной как климатической поясностью, так и изменением пути фильтрации вод и времени их соприкосновения с породами. Поясное изменение вод заключается в увеличении их минерализации с уменьшением отметок рельефа и замедлением движения. Как правило, в горах минерализация вод возрастает от водоразделов к подножиям склонов и долинам соответственно от 0,03 до 0,2 г/л. В предгорьях она повышается до 0,3 г/л, а на равнинах, где скорость движения вод резко падает, — до 0,5 г/л. На горных водоразделах основная роль принадлежит атмосферному привносу солей до 50—60% общей минерализации грунтовых вод. На равнинах преобладающая часть минерализации (до 60%) формируется при углекислотном выветривании почв в результате биохимических процессов выщелачивания, ионного обмена. Направленность этих процессов определяется наличием в почвах гумуса и комплекса поглощенных оснований и заключается в увеличении минерализации вод за счет накопления в них гидрокарбонатов кальция при уменьшении содержания свободной углекислоты и возрастании pH. В результате этих изменений ослабляется агрессивность грунтовых вод. Если в пределах горных массивов и предгорий воды, как правило, обладают выщелачивающей и углекислотной агрессивностью, то на равнинах они ее сохраняют далеко не повсеместно. В целом для области характерно закономерное ослабление выщелачивающей и углекислотной агрессивности грунтовых вод с уменьшением отметок рельефа.

По кислотности грунтовые воды преимущественно неагрессивные. Это определяется залесенностью и избыточным увлажнением территории, при которых происходит разложение растительных остатков с образованием органических кислот, что обусловливает слабокислую реакцию грунтовых вод с pH 6,6—7. Лишь в северных районах, где развиты подзолистые почвы с повышенным содержанием в поглощенном комплексе иона водорода, образуются воды с pH менее 6, обладающие общекислотной агрессивностью. Аномально-низкими показателями концентрации водородных ионов до 1,9—2 и, следовательно, аномально высокими агрессивными свойствами обладают грунтовые воды участков сульфидных месторождений. Одновременно они характеризуются выщелачивающей агрессивностью благодаря низкому содержанию гидрокарбонатов. На Камчатке и Курильских островах такие воды приурочены к зонам гидротермального изменения пород.

Характерной особенностью грунтовых вод юга Дальнего Востока является повышенное содержание в них закисного железа. В распределении железистых вод наблюдается определенная закономерность: в пределах горных массивов воды, как правило, безжелезистые; в предгорьях появляются воды с содержанием железа до 5 мг/л; в артезианских бассейнах содержание железа колеблется от 1 до 70 мг/л, возрастая от периферических частей к центру и достигая максимума в наиболее пониженных и заболоченных местах. Наличие в водах закисного железа отрицательно сказывается на эксплуатации закрытых дренажных систем, вызывая заиление дрен. Опыт эксплуатации таких систем в Вя-

земском районе Хабаровского края показал, что основной причиной зарастания является развитие в дренажных трубах железобактерий при наличии в воде закисного железа в количестве свыше 8 мг/л. Причем при содержании железа 8—20 мг/л развиваются бактерии, не прикрепляющиеся к стенкам труб, которые могут быть легко удалены при создании уклонов дрен. Если же содержание железа превышает 20 мг/л, развиваются бактерии, прочно прикрепляющиеся к стенкам труб, удаление которых требует проведения специальных мероприятий.

Артезианские воды развиты ниже горизонтов грунтовых вод в артезианских, адартезианских бассейнах и супербассейнах и вскрываются скважинами и подземными выработками при разведке и эксплуатации угольных и нефтяных месторождений. Мощности артезианских горизонтов от долей метров до 100 м, глубина залегания их колеблется от нескольких десятков до нескольких тысяч метров. Воды приурочены к терригенным и вулканогенным породам кайнозойского и мезозойского возраста различной степени литификации, в связи с чем имеют поровопластовый, порово-трещинно-пластовый и трещинно-пластовый характер циркуляции. Пьезометрические уровни вод обычно располагаются близ поверхности земли. Часто скважины дают самоизлив с высотой фонтанирования до 15 м. Для большинства бассейнов характерно увеличение напоров от их бортов к центральным частям от десятков до сотен метров.

Водообильность напорных горизонтов различная. Дебиты скважин варьируют от тысячных долей до 15 л/с, в зонах разломов достигают 22 л/с, при самоизливе — 5—15 л/с. На участках угольных месторождений преобладают слабо- и средневодообильные горизонты, не дающие значительных водопритоков в горные выработки. Однако встречаются и интенсивно обводненные пласты, в частности, в пределах Средне-Амурского и Амуро-Зейского артезианских бассейнов. Расчетные водопритоки в горные выработки месторождений Свободное, Хабаровское, Ивановское, Ерковецкое оцениваются в сотни кубических метров в час. Разработка этих месторождений требует проведения сложных дорогостоящих мероприятий по их осушению, что делает ее в ряде случаев нерентабельной.

В районах нефтяных месторождений Северо-Сахалинского бассейна водообильность артезианских горизонтов значительно изменяется даже в пределах небольших участков. Дебиты скважин колеблются от 0,01 до 10 л/с, удельные дебиты — от 0,001 до 0,5 л/с. Гидравлическая связь между нефтеносной и водоносной частями пластов на ряде месторождений (Оха, Катангли и др.) отсутствует, о чем свидетельствует неизменное положение внешнего контура нефтеносности при эксплуатации.

Для артезианских бассейнов Дальнего Востока характерны весьма длительные этапы инфильтрационного развития, что при интенсивном водообмене и сравнительно хорошей раскрытости структур привело к замещению значительной части ранее погребенных седиментационных вод инфильтрационными. Исключение составляют наиболее погруженные участки бассейнов, характеризующиеся весьма затрудненным водообменом, где, возможно, сохраняются седиментационные воды, претерпевшие в процессе диагенеза и эпигенеза осадков значительные изменения. В настоящее время седиментационный водообмен предполагается лишь в окраинных частях бассейнов Сахалина. Таким образом, основную долю в балансе современных артезианских вод Дальнего Востока составляют воды инфильтрационного генезиса, химический состав которых формируется за счет выщелачивания солей из вмещающих пород, катионного обмена, отжатия молекулярно связанных вод и диффузионного

перемещения ионов. Важную роль в водообмене нижних и верхних горизонтов играют тектонические нарушения. Ввиду отсутствия в составе вмещающих пород соленосных и легкорастворимых образований степень минерализации артезианских вод сравнительно невелика. Преобладают пресные и слабосолоноватые воды гидрокарбонатного натриевого и натриево-кальциевого состава. Мощность зоны пресных вод достигает местами 1—2 тыс. м, в пределах антиклинальных структур она резко сокращается. Сильносолоноватые и соленые воды распространены на Камчатке и Сахалине. В артезианских бассейнах Камчатки они залегают на глубине 200—400 м, в отдельных местах по зонам разломов глубина уменьшается до 10—50 м от поверхности. Минерализация их до 15 г/л, состав хлоридный натриевый.

На Сахалине распространены также хлоридные натриевые воды повышенной минерализации до 35 г/л с большим количеством микрокомпонентов. Они служат источником промышленного сырья на некоторые из них. Воды высокотемпературные, что делает их пригодными для использования в бальнеологии. Агрессивными свойствами артезианские воды, как правило, не обладают.

Трещинно-жильные воды локализуются в зонах повышенной тектонической трещиноватости. Наибольшее значение в этом отношении имеют разломы, заложившиеся в орогенный этап развития складчатых систем или в стадию постконсолидационной активизации, которые сопровождаются широкими зонами трещиноватости, проникающими на глубину нескольких сотен метров. Повышенной обводненностью отличаются также эндоконтакты интрузивных тел. Трещинно-жильные воды обычно носят напорный характер, часто со скважинным самоизливом дебитом до 15 л/с. Они образуют родники дебитом до 5 л/с.

По генезису это преимущественно инфильтрационные воды, химический состав которых формируется за счет выщелачивания пород, ионного обмена, окислительно-восстановительных микробиологических процессов. В зонах глубинных обновляемых разломов важную роль играют современные поствулканические процессы, обусловливающие аномально-высокую температуру вод и их обогащенность специфическими компонентами. Минерализация трещинно-жильных вод не превышает 1 г/л, воды гидрокарбонатного кальциевого, натриево-кальциевого или магниевокальциевого состава. С глубиной минерализация несколько увеличивается за счет гидрокарбонат-иона, вместе с тем pH возрастает до 9. Это приводит к ослаблению и потере с глубиной агрессивных свойств трещинно-жильных вод. На Сахалине, Курильских островах и Камчатке, где проявляется молодой вулканизм, минерализация вод в зонах глубинных разломов достигает 60 г/л. Благодаря высокой температуре и наличию специфических компонентов (кремнекислоты, углекислоты, сероводорода, йода, мышьяка и др.) трещинно-жильные воды часто обладают ценными целебными свойствами и используются в бальнеологии.

Современные геологические процессы и явления

Комплекс современных геологических процессов и явлений Дальнего Востока отличается большим разнообразием. Ландшафтно-климатическая зональность обусловливает общую зональность современных процессов и их различную интенсивность. На Северо-Востоке преобладают физическое выветривание и процессы, обусловленные наличием

многолетней мерзлоты (термокарст, термоабразия, солифлюкция и др.); на юге Дальнего Востока — заболачивание, эрозия. На Камчатке и Курильских островах развиты процессы, связанные с современным вулканизмом, повышенной сейсмичностью и воздействием цунами.

Физическое выветривание. В условиях резко континентального и сурового климата Северо-Востока и в гольцовой зоне юга Дальнего Востока интенсивное разрушение пород и глубокое проникновение поверхностной трещиноватости происходят в результате морозного выветривания. По данным Э. Э. Титова (1972), устойчивость горных пород Северо-Востока к физическому выветриванию выражается следующим рядом (по мере уменьшения способности противостоять агентам выветривания): 1) магматические породы (граниты, гранодиориты, диориты, андезиты, базальты, диабазы); 2) метаморфические породы (гнейсы, роговики) и 3) осадочные породы (песчаники, мергели, доломиты, конгломераты, граувакки, глинистые сланцы).

В процессе выветривания интрузивные породы распадаются по трещинам отдельности на весьма крупные глыбы размером до 10 м³ и более. Глубина выветривания достигает 20 м. Выветрелые гранодиориты на поверхности распадаются на глыбы до 2—3 м³, обломки 0,01—0,02 м³, дресву, аркозовые пески и супеси. Эффузивные породы образуют глыбы размером 0,8—1,0 м³, крупные обломки 0,1—0,2 м³ и супесчано-суглинистый мелкозем. Зона выветривания в андезитах более 40 м (Охотско-Чукотское звено вулканогенного пояса). В продуктах выветривания метаморфических пород преобладает щебнисто-глыбовый материал. Песчаники и карбонатные породы при выветривании дают более или менее крупные глыбы. Своеобразное явление представляют сапролиты или глубоко выветрелые до 15—20 м (под влиянием многократного промерзания и оттаивания и процессов физического выветривания) кристаллические породы типа гнейса или гранита. В мерзлом состоянии они полностью сохраняют прежние текстуру и структуру, но при оттаивании переходят в несцементированную дресву и песок (Качурин, 1959).

Склоновые процессы наиболее активно протекают в горах Северо-Востока, лишенных хорошо развитого почвенного покрова и растительности. На юге Дальнего Востока задернованность и залесенность склонов существенно затормаживают, а иногда и прерывают их развитие.

Осыпание — наиболее активно и широко развитый процесс, распространенный на значительной части склонов Северо-Востока и в верхнем поясе гор юга Дальнего Востока. Перемещению материала способствует развитие в рыхлой толще стебелькового льда. Максимальные смещения пород (до 100 см) характерны для наиболее крутой (25—30°) средней части склона. Смещения на незадернованных, но пологих склонах (6—8°) больше (45 см), чем на более крутой (10—15°), но задернованной части склона (до 20—30 мм) (Титов, 1970). Осыпи, формирующиеся на породах осадочного сланцевого комплекса и состоящие на 50—60% из щебня, образуют конусы длиной 20—25 м с крутизной поверхности до 30°. Осыпи на песчаниках сложены крупным щебнем и глыбами до 0,3—0,4 м в поперечнике с подчиненным содержанием мелкого щебня (до 20—30%), имеют крутизну поверхности 30—45°. На интрузивных, реже эффузивных породах формируются крупноглыбовые (0,3—1 м³) осыпи. В зоне распространения многолетнемерзлых пород широко развиты курумы шириной 20—50 м, длиной 100—300 м и крутизной 18—30°. Мощность обломочного материала в курумах редко превышает 3 м. Курумы обычно располагаются в ложбинообразных понижениях. Морфологические признаки свидетельствуют о высокой подвижности мате-

риала курумов не только вниз по склону, но и в вертикальном разрезе.

Оползневые процессы на большей части описываемой территории имеют ограниченное распространение. На юге Дальнего Востока наиболее крупные оползни, приурочепные к краевым частям базальтовых и андезито-базальтовых покровов, залегающих на глинистых отложениях эоцен-плиоцена, достигают в длину 5—7 км при ширине до 3—4 км. Амплитуда смещения достигает 100 м. Оползневые накопления представлены глыбами и щебнем базальта и андезито-базальта размером от 15—20 см до нескольких метров. Оползневым подвижкам подвержены уступы морских, озерных и речных террас. Так, крупные оползни отмечаются на правобережье Амура (район Хабаровска), на побережье Охотского моря на участке от м. Литке до Петровской косы, на Сахалине, на берегах озер Ханка и Нижнего Приамурья. В районах развития многолетнемерзлых пород выделяется криогенная разновидность оползневого процесса — скольжение и оплывание талых пород по мерзлому водоупору (Усть-Бельские горы, Охотское побережье Камчатки севернее 60° с. ш. и др.).

К своеобразным склоновым процессам относятся снежные лавины, формированию которых способствуют повышенные снегозапасы, интенсивный перенос снега ветром, сильно расчлененный рельеф и большая крутизна склонов. Сход лавин наблюдается чаще всего в период больших метелей при сильном ветре, реже сразу после метели (Камчатка, Сахалин, Сихотэ-Алинь). На Северо-Востоке весьма благоприятные условия для схода снежных лавин на хребтах Верхоянском, Колымском и др. Н. Н. Клюевым (1967) описаны случаи схода снежных лавин в верховьях рек Колымы (Тенькинская трасса, долина р. Вакханки и др.) и Индигирки, а также на побережье Охотского моря, происходящие преимущественно в марте—апреле.

В комплексе склоновых процессов Северо-Востока особое место принадлежит солифлюкционному процессу, являющемуся основным агентом денудации в пределах низкогорий и плоскогорий. В районах островного распространения многолетнемерзлых пород солифлюкция развита слабо. Наиболее интенсивно солифлюкционному процессу подвержены склоны крутизной от 5 до 25°, покрытые тонкодисперсными суглинисто-супесчаными отложениями, иногда со значительным содержанием (до 60—70%) грубообломочного материала. Скорости смещения солифлюкционных потоков зависят от крутизны склонов и влажности деятельного слоя. При медленном вязкопластичном движении грунтов по всему склону они достигают нескольких миллиметров в год. Так, большинство чукотских дорог, расположенных на солифлюкционных склонах, движется вместе с сезоннопротаивающим слоем в течение нескольких лет без заметного разрушения полотна. При локальном сильном увлажнении деятельного слоя за счет внешних источников увлажнения в виде дождя и талых вод происходят дифференциация скоростей смещения и образование специфических солифлюкционных форм микрорельефа: солифлюкционных террас, уступов, каменных полос, языков и др.

Криогенные процессы, развитые в зоне многолетнемерзлых пород, отличаются большим разнообразием. Одна группа процессов связана с ростом многолетней мерзлоты (подземные и жильные льды, пучение, наледеобразование и др.), другая — с ее деградацией (термокарст). Наиболее широко криогенные процессы развиты в пределах обширных низменностей и межгорных впадин, сложенных рыхлыми высокольдистыми породами.

Среди подземных льдов на рассматриваемой территории выделяются повторно-жильные, инъекционные, термокарстово-пещерные и погре-

бенные. Первые развиты практически во всех генетических типах рыхлых отложений, кроме элювиальных и обвально-осыпных. На поверхности равнин они образуют полигональную решетку. Размер полигонов колеблется от 5—7 до 10—20 м, реже более. Средняя ширина ледяных жил 1,5—2 м, вертикальное протяжение 3—4 м. Инъекционные льды образуют более крупные скопления. Среди инъекционных льдов выделяется несколько разновидностей (Гасанов, 1969): 1) сезонный инъекционный лед, развитый вблизи южной границы мерзлоты и во внутриматериковых районах с резко континентальным климатом, обеспечивающим значительную мощность сезонноталого слоя, образует плоско-выпуклые линзы толщиной 2—3 м, в поперечнике до 15 м. Они полностью залегают в слое сезонного протаивания; 2) многосезонный инъекционный лед (перелеток), развитый в северных и северо-восточных приморских равнинах, залегает на границе сезонноталого и многолетнемерзлого слоев в виде плоско-выпуклых линз толщиной до 2 м с поперечным сечением до 40 м; 3) собственно инъекционные льды, развитые в комплексах ледниковых, морских, аллювиально-озерных и аллювиальных отложений, образуют линзы льда толщиной до 10 м с поперечным сечением до 60—80 м. Они залегают в толще многолетнемерзлых пород на глубине 15—20 м; 4) повторно-инъекционный лед, развитый на равнинах, подвергшихся трансгрессиям и оледенениям, образует интрузивные пласты толщиной 6—8 м с поперечным сечением до 300 м, залегающие в верхней части мерзлой толщи.

Термокарстово-пещерные льды образуют линзы, горизонтальные пласты и вертикальные жилы толщиной до 2—3 м и простиранием до 15—20 м

Широкое развитие имеют также конжеляционные льды: лед-цемент (преимущественно в песчаных породах), сегрегационный (преимущественно в дисперсных глинистых и пылеватых разностях) и жильный (в скальных трещиноватых породах), которые образуются в результате замерзания подземных вод. В инженерно-геологическом отношении наиболее опасны многосезонные и сезонные инъекционные льды, располагающиеся как на границе сезонноталого слоя с мерзлотой, так и в пределах самого талого слоя. Рост и протаивание подземных льдов являются причиной целого ряда других мерзлотных процессов (пучение, термокарст и др.).

Пучение, являющееся одним из распространенных мерзлотных процессов, развито не только в зоне многолетнемерзлых пород, но и в зоне глубокого сезонного промерзания. Наиболее интенсивно пучению подвержены тонкодисперсные и торфяные отложения в местах скопления влаги. Реже оно наблюдается в крупноскелетных грунтах деятельного слоя, если они полностью увлажнены и их поры заполнены мелкоземом. Пучение резко возрастает при подтоке влаги к фронту промерзания и ее замерзании. Это приводит к образованию бугров пучения и гидролакколитов. На Колымской низменности бугры пучения достигают в длину 100 м и более при ширине до 50 м и высоте 1,5—4 м. Они округлой или овальной формы с плоской или куполовидной вершиной, часто разбитой трещинами. В озерных впадинах — аласах, на поймах и террасах крупных рек северных приморских низменностей (от губы Буор-Хая до Чаунской) широкое развитие имеют гидролакколиты (булгунняхи) — холмы округлой формы высотой до 40 м и диаметром основания до нескольких сотен метров, растущие в течение ряда лет. Взаимодействие пучения с морозной сортировкой и морозным выветриванием приводит к образованию характерных криогенных форм рельефа: каменных колец, пятен-медальонов, гирлянд и других, разви-

тых на грубоскелетных отложениях или дисперсных породах с большим содержанием обломочного материала. В образующихся формах наблюдается концентрация щебня и глыб в верхней части, что часто создает ложное представление о неглубоком залегании скального основания. Пятна-медальоны диаметром до 1—3 м приурочены к водоразделам, седловинам и склонам гор. В зонс глубокого сезонного промерзания грунтов пучение наиболсе распространено на заболоченных оторфованных участках. Высота бугров пучения достигает 1 м при диаметре в несколько метров. Здесь пучение является наиболее распространенным видом деформации земляного полотна железнодорожных и автодорожных насыпей.

Многолетние наблюдения за пучением грунтов на Аркагалинской станции (в различных мерзлотно-геологических условиях) дали интересные результаты. Торфяно-глинистые грунты на предварительно снивелированных участках поверхности ежегодно в октябре—ноябре вспучивались на 80 мм, гравийно-галечные грунты—на 40 мм. Осенне-зимнее поднятие столбов, заложенных в пределах деятельного слоя, достигало 12—16 см. За 5 лет отдельные столбы, заложенные в пылеватые суглинки, были приподняты на 52 см. Столбы, заложенные в тонкодисперсные грунты, испытывали силу выпучивания до 12 т, в суглинки с содержанием гравия — до 5—6 т и в гравийно-галечные отложения — до 0,4 т. При этом сила выпучивания железобетонных столбов больше, чем деревянных. Нарастание сил пучения пропорционально глубине промерзания и своего наибольшего значения достигает в конце промерзания деятельного слоя. Максимальное пучение железобетонные и деревянные столбы испытывали в момент, когда деятельный слой охлаждался до минус 1—4°, дальнейшее охлаждение пучение не увеличивает.

Наледи наибольшего развития достигают в горных районах Северо-Востока, расположенных в зоне сплошной многолетней мерзлоты. Выделяются многолетние и сезонные наледи. Последние встречаются и вне области многолетнемерзлых пород, где они появляются в октябре—ноябре, а сходят в апреле—мае. Наледи приурочены к долинам малых рек и притоков второго и третьего порядка, реже — к более крупным и полноводным рекам. Наибольшее число наледей, и притом самых крупных по размерам, сосредоточено в областях проявления новейших движений и интенсивной блоковой тектоники, охватывающей горные сооружения хр. Черского (на левобережье р. Уяндиной площадь девяти наледей составляет 120 км^2, Момский Улахан-Тарын имеет площадь 82 км^2, в Пырской группе наледей площадь каждого ледяного поля от 19 до 70 км^2) и западную часть Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (объем льда Анмангындынской наледи 9,5 млн. м^3). В областях крупных сводовых поднятий (Момский регион), выраженных в рельефе плато и нагорьями, наледи концентрируются в их краевых частях. В пределах обширных низменностей (Яно-Колымский, Анадырский, Пенжинско-Анадырский регионы) наледи практически отсутствуют. Часто причиной наледепроявлений служат вырубка леса, корчевание пней, строительные работы (карьеры, выемки, котлованы), прокладка дорог и другие работы, приводящие к локальному промерзанию грунтов или уменьшению деятельного слоя. Особую опасность наледи создают при строительстве и эксплуатации дорог. Сезоннопротаивающий слой земляного полотна, с которого удален растительный покров, промерзает быстрее, создавая водонепроницаемую перемычку для подтока надмерзлотных вод. Зажатые между промерзающей частью сезоннопротаивающего слоя и поверхностью многолетнемерзлых пород

воды становятся напорными и, изливаясь на поверхность, образуют наледи, разрушающие полотно дороги. Таким примером могут служить автодороги Магадан—Палатка, Магадан—Усть-Нера и другие, почти ежегодно повреждаемые наледями. На 150-километровом участке дороги Благовещенск—Свободный насчитывается более 100 крупных наледей со средним объемом льда до 7 тыс. м^3 каждой из них. Наледеопасными являются участки железнодорожной линии Известковая—Ургал, Советская Гавань—Пивань, где в процессе своего развития наледи нередко выходят на железнодорожный путь.

Термокарстовые процессы широко развиты на поверхности Яно-Индигирской, Колымской, Ванкаремской, Чаунской, Анадырской и других низменностей, в межгорных котловинах и речных долинах Северо-Востока, где в аллювиальных отложениях залегают повторно-жильные льды. Наиболее крупные и четко выраженные термокарстовые формы рельефа образуются в местах распространения повторно-жильных, инъекционных и сегрегационных льдов. Наименее подвержены термокарсту рыхлые породы, содержащие лед-цемент. Наиболее интенсивно термокарст протекает в относительно однородных по фациальному и литологическому составу тонкодисперсных (суглинисто-супесчаных) аллювиальных и озерно-аллювиальных отложениях, обладающих высокой льдистостью. В южной части территории термокарстовые процессы проявляются локально (бассейны рек Селемджи, Зеи, Буреи и др.) и обусловлены чаще всего протаиванием жильных льдов и ледяных ядер, встречающихся в плоскобугристых торфяниках.

Возникновение и развитие термокарста происходит при нарушении растительного покрова, уменьшении или увеличении влажности пород. Наиболее частой причиной возникновения термокарста являются морозобойное растрескивание и эрозия, которые нарушают дерновый покров, способствуют увеличению глубины протаивания и вскрытию глубоких льдистых горизонтов. Развитие термокарстового процесса происходит также из-за нарушения человеком естественных условий (вырубка леса, лесные палы и пожары, строительство дороги и др.). Примером этого служит автодорога Усть-Куйга—Депутатский, разрушенная до завершения ее строительства из-за беспорядочного движения гусеничного транспорта, нарушившего естественный мохово-растительный покров. Термокарстовые формы рельефа обычно зависят от генетического типа подземного льда. При протаивании повторно-жильных льдов (побережье северных приморских низменностей, долины рек тундровой зоны и прилегающие к ним озерно-аллювиальные равнины) образуются котловины, имеющие угловатую форму, заболоченные или занятые озерами. Превышение бортов котловины над урезом воды достигает 15—20 м. Площадь озер от 5—6 м^2 до 3—4 км^2. Развитые по бортам котловин байджарахи свидетельствуют о продолжающемся термокарстовом процессе и о дальнейшем росте котловин. При вытаивании сегрегационных льдов, встречающихся довольно часто на Яно-Индигирской и Колымской озерно-аллювиальных равнинах, образуются плоские неглубокие котловины больших размеров (до 25 км^2), занятые овальными, квадратными или многолопастными озерами. Осушение озер приводит к образованию аласов, на заболоченных днищах которых наблюдается морозобойное растрескивание и формирование жильных льдов. Северные низменности с характерным рельефом обширных аласов различной формы, сочетающихся с многочисленными термокарстовыми озерами и мелкими котловинами, и полигональным рельефом по праву называются термокарстовыми равнинами. Наиболее изъедены термокарстом возвышенные поверхности Яно-Индигирской и Колымской низ-

мощностей («едома»). Здесь развиты глубокие (до 15—30 м) крутостенные озерные котловины и небольшие термокарстовые воронки (диаметром до 5—10 м), образующиеся в местах пересечения полигональной решетки. Сочетание процессов термокарста с волноприбойной деятельностью озер создает так называемые ориентированные озера, развитые на Ванкаремской, Валькарайской и Чаунской низменностях. Озера овальной, яйцевидной или прямоугольной формы размерами от нескольких десятков квадратных метров до нескольких квадратных километров, глубина котловин не превышает 3—5 м.

При вытаивании повторно-жильных льдов на береговых склонах озер и морей образуются байджарахи высотой до 5—7 м. Их размер и форма зависят от размера и формы полигонов, от скорости протаивания, экспозиции и крутизны берегового склона и состава слагающих пород. При преобладании песчаных разностей они быстро разрушаются, оплывают, их размеры невелики. В плотных пылеватых разностях байджарахи образуют четкие правильные формы. Своеобразной формой термокарста, связанной с вытаиванием полигонально-жильных льдов, является западинно-бугристый рельеф, широко развитый как в тундровой, так и в таежной частях региона. Бугры овальной формы, высотой 1—2 м, окружены канавообразными понижениями на месте вытаявших жил льда. Участки развития западинно-бугристого рельефа являются ненадежным основанием для сооружений.

Термокарстовые процессы чрезвычайно осложняют инженерно-геологические условия, затрудняя проведение строительных работ, а иногда приводя к их прекращению. При сельскохозяйственном освоении территории изменение термических условий на поверхности почвы часто приводит к образованию просадок, провалов и разрушению тех участков, которые подготовлялись для угодий. Из-за вытаивания подземных льдов и сильнольдистых отложений любое инженерное сооружение, возведенное на льдистых грунтах без соблюдения соответствующих мер, подвержено осадке. Термокарст при этом приводит к оседанию отдельных частей зданий, сдвигам, трещинам в углах и пазах, деформации стен, полов, опор фундамента и др. Термокарст наиболее часто деформирует аэродромные покрытия, подземные коммуникации, опоры линий электропередач.

Эрозионные процессы в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород протекают своеобразно и проявляются в форме интенсивной боковой эрозии при весьма незначительной глубинной эрозии. Этим, вероятно, объясняется тот факт, что реки Северо-Востока с незначительными по размерам водотоками текут в чрезвычайно широких плоскодонных долинах. Берега рек Яны, Индигирки, Колымы, сложенные сильнольдистыми породами с повторно-жильными льдами, разрушаются с катастрофической скоростью до 10—20 м в год. Разрушению берегов способствуют процессы термоабразии и солифлюкционного оплывания. Глубинная эрозия рек, имеющих талики, не отличается от эрозии рек вне зоны сплошной мерзлоты.

В зоне островного распространения многолетнемерзлых пород и вне ее усилению эрозии способствуют высокие летне-осенние паводки, волновые воздействия, особенно при штормовых ветрах, а также удаление растительного покрова в результате хозяйственной деятельности человека. Часто повторяющиеся (один в два-три года) катастрофические наводнения — результат неустойчивого гидрологического режима рек. Амур, особенно в среднем и нижнем течении, Уссури и их крупные притоки не в состоянии пропустить во время ливней огромные водные потоки и разливаются. Ширина разливов на Амуре достигает 7—10 км

(в районе Хабаровска до 20 км), Уссури в отдельные годы разливается до 15 км, а притоки Уссури — до 2,5—7 км. Эти разливы благоприятствуют интенсивному проявлению боковой эрозии. Так, в низовьях Амура в районе Торгонских перекатов разрушение берега достигает 12—15 м в год, а на участке с. Нижне-Тамбовское — с. Шелехово берег ежегодно отступает до 7 м.

В условиях муссонного климата юга Дальнего Востока наибольшее значение приобретают склоновые эрозионные процессы, ведущие к овражкообразованию (районы Амуро-Зейского плато). Характерна летняя активизация роста оврагов, обусловленная интенсивными осадками. Один летний дождь средней интенсивности увеличивает рост оврагов на 50—70 см, катастрофический ливень — на 2 м и более. Нарушение растительного покрова приводит к значительной интенсификации этого процесса.

Делювиальному смыву, протекающему в условиях Северо-Востока в тесной связи с солифлюкционными процессами, способствуют высокий коэффициент стока, грубый механический состав коллювия, высокая его пористость, наличие водоупора (вечная мерзлота), а также разреженный растительный покров. Наиболее интенсивно делювиальные процессы проявляются на склонах южной экспозиции, лишенных растительности и сложенных осадочными породами (хр. Черского). В южной части Дальнего Востока из-за густого растительного покрова плоскостной смыв развит слабо. Наибольшей активности он достигает весной на распаханных склонах и гарях.

Процессы заболачивания характерны для плоскоравнинных пространств всей территории Дальнего Востока. В области развития многолетнемерзлых пород причиной заболачивания являются: избыточное увлажнение, незначительные уклоны и близкое залегание подошвы сезонноталого слоя. Процессами заболачивания охвачены не только пониженные участки микрорельефа, долины рек, но и огромные равнинные пространства. Так, в пределах Колымской низменности развиты многочисленные болота низинного типа с хорошо развитой дерновиной и маломощным (10—30 см) слоем торфа площадью до 500 км². Вне области сплошного распространения многолетнемерзлых пород заболачивание равнин обусловлено муссонными особенностями климата (до 80% годового количества осадков приходится на летне-осенний период), незначительными уклонами (менее 0,001), слабыми врезами речных долин, большими колебаниями уровня поверхностных вод. В результате этого обширные территории (на юге Приамурья до 24%) затапливаются паводковыми водами. В Ханкайско-Уссурийской и Средне-Амурской депрессиях к заболачиванию ведет широкое распространение с поверхности водонепроницаемых грунтов. Заболачиванию способствуют также островное распространение многолетнемерзлых пород, глубокое сезонное промерзание и медленное оттаивание, препятствующее инфильтрации талых и атмосферных вод в весенне-летний период. В Верхне-Зейской котловине, в междуречье Зеи и Селемджи медленное оттаивание, продолжающееся до августа, обусловливает обеструктуривание почв и ухудшение их фильтрационных свойств, приводя тем самым к переувлажнению верхних почвенных горизонтов.

Карст на территории Дальнего Востока не имеет широкого развития из-за незначительного распространения карстующихся карбонатных пород. На Северо-Востоке карст развит слабо. Незначительное количество поверхностных карстовых форм — карстовых воронок, небольших пещер, суходолов — встречено в районах развития карбонатных пород протерозойского возраста. Крупные подземные карстовые фор-

мы (каверны, пустоты) выявлены скважинами на участках Тирехтяхского и Лыглыхтахского месторождений известняков. На возможное развитие глубинного карста в Средне-Колымском, Омулевском, Куульском, Верхне-Арманском, Валижгинском районах косвенно может указывать наличие многочисленных круглогодичных наледей, образованных мощными источниками подмерзлотных карстовых вод.

На юге Дальнего Востока карст приурочен к участкам развития верхнепротерозойских и палеозойских известняков и доломитов. В окрестностях г. Котлован отмечены воронки диаметром 15—20 м и глубиной 6—8 м, пещеры высотой более 10 м и длиной до 200 м. В Приморье известны пещеры, достигающие колоссальных размеров и состоящие из нескольких залов и галерей.

Расположение региона в пределах Тихоокеанского тектонического пояса обусловливает высокую сейсмичность территории. Наиболее активной в этом отношении является область «живущей» геосинклинали — Камчатка и Курильские острова, которые отличаются высокой энергией и частотой происходящих здесь землетрясений. Основная масса эпицентров протягивается полосой вдоль Тихоокеанского побережья. Гипоцентры землетрясений Курило-Камчатской зоны располагаются по некоторой фокальной зоне, погружающейся под континент. По мнению М. С. Маркова и В. Н. Аверьянова (1967), она не прослеживается глубже 300 км, причем наблюдается большая неравномерность концентрации гипоцентров по глубине и по площади. В пределах зоны выделяются чередующиеся области большего и меньшего выделения сейсмической энергии. По данным одного из последних сейсмических профилей Дальневосточной сейсмической станции (Гайнаков и др., 1970), в пределах зоны выделяется несколько обособленных групп очагов. Так называемая фокальная зона курило-камчатских землетрясений (Тараканов, 1969) в районе Южной Камчатки и Северных Курил наклонена к материку под углом около 60°, в районе остальных Курил — под углом 45—48°. Наблюдаются различия и в распределении глубокофокусных землетрясений. Так, для южного участка Курило-Камчатской островной дуги максимальная концентрация гипоцентров наблюдается на глубине 300—400 км, для средних Курил — на глубине от 400 до 600 км. Для Северных Курил большой концентрации гипоцентров не наблюдается, а отдельные их группы располагаются на глубине 400—500 км. Установлено, что почти все очаги глубокофокусных землетрясений сопряжены с глубоководными впадинами окраинных морей, а островным дугам свойственны мелкофокусные землетрясения. Курило-Камчатской зоне свойственны землетрясения с магнитудами 6—8,6. Довольно часто здесь происходят подземные толчки, обладающие максимальной энергией. Последние сильные землетрясения на Камчатке наблюдались в 1959 и 1971 гг. Сила землетрясений в районе Петропавловска-Камчатского достигала 8 баллов, а в районе с. Жупаново — 9 баллов. На Сахалине, где сейсмичность гораздо ниже, периодически происходят землетрясения, приуроченные к двум зонам повышенной активности. Области мезозойской складчатости на Северо-Востоке весьма своеобразны по характеру неотектонических движений и связанной с ними сейсмичности. Как отмечает Н. И. Николаев (1965), здесь еще продолжаются процессы горообразования, о чем свидетельствуют землетрясения. Возрастающее число землетрясений указывает на активизацию тектонической деятельности. Наиболее крупная сейсмическая зона с магнитудами до 8 приурочена к зоне дифференцированных и высококонтрастных движений хр. Черского. Землетрясения с магнитудами 5—7 отмечены в районе Магадана и на Чукотке.

Большой ущерб и разрушения причиняет вызванная землетрясениями гигантская приливная волна — цунами. Фокусируясь некоторыми формами прибрежного подводного и надводного рельефа, цунами обрушиваются на тихоокеанский берег Камчатки и Курил. Они нередко достигают высоты 20 м и обладают колоссальной энергией. Главными участками образования являются: м. Шупинский (вблизи юго-восточного берега Камчатки), где располагались эпицентры землетрясений, вызвавших цунами в 1937 и 1952 гг., южная окраина п-ова Камчатский Мыс, острова Большой Курильской гряды (восточнее пролива Буссоль). Воздействие цунами на берег может быть гидродинамическим (разрушительный эффект создается за счет кинетической энергии набегающей волны) и гидростатическим (быстрый подъем воды и затопление). Наибольшие разрушения цунами может принести в низменных аккумулятивных участках побережья, устьях рек, на песчаных отмелях и косах, а также в вершинах сужающихся бухт с широким открытым входом. Несколько меньшая зона затопления свойственна фиордовым и окаймленным современными подводными и надводными террасами абразионно-денудационным берегам.

Вулканизм весьма активно проявляется в пределах Камчатки и Курильских островов, где слабые извержения наблюдаются почти ежегодно (сильные — один раз в несколько лет, а катастрофические — не более одного раза в 50—60 лет). По данным В.И. Влодавца (1973), на территории Камчатки насчитывается 28 действующих вулканов, 7 из них находятся в фумарольной стадии деятельности. На Курильских островах 40 действующих вулканов, 2 из которых подводные, а 4 находятся в состоянии фумарольной активности. К числу потенциально действующих (исходя из наличия на них сравнительно свежих вулканических образований) Е. К. Мархинин и другие (1962) относят еще 5 камчатских вулканов и 8 расположенных на островах Парамушир и Итуруп. Наиболее активными вулканами по частоте и силе извержения на Камчатке являются Ключевской, Карымский, Шевелуч, Безымянный, Кеудач, а в пределах Большой Курильской дуги — Алаид, Пик, Сарычева, Северина и др.

ГЛАВА 4

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Инженерно-геологическое районирование территории Дальнего Востока производится в соответствии с теоретическими положениями, изложенными в первой части монографии и развиваемыми в работах И. В. Попова. Первой, самой крупной в таксономическом отношении единицей районирования являются горно-складчатые области или системы, рассматриваемые как регионы первого порядка. Они выделяются по возрасту складчатости, отражающей время превращения геосинклинальной зоны в платформу или ороген. Далее на основе формационного анализа структур, образующих складчатую систему, она подразделяется на регионы II и III порядков. При этом учитывается тесная связь слагающих их формаций с тектоническим режимом структуры всего времени ее развития. Эта классическая схема районирования складчатых областей для территории Дальнего Востока по целому ряду причин не может быть принята в полном объеме. Вся рассматри-

ваемая территория, включающая несколько разновозрастных складчатых систем (см. рис. 2), принадлежит северо-западной части глобальной структуры—Тихоокеанскому подвижному поясу и на этом основании может рассматриваться как единый регион I порядка. Существенно и то, что эта структура обладает специфическими чертами, отличающими ее от других складчатых областей Советского Союза. Первой особенностью является последовательное смещение геосинклинальных процессов с запада на восток, протекавшее, однако, не всегда поступательно и чередовавшееся с эпохами регенерации геосинклинальных условий в областях завершенной складчатости, сопровождавшимися дальнейшим дроблением и «переработкой» срединных массивов. Второй ее особенностью является большая тектоническая подвижность в мезокайнозое и широкое проявление в орогенный и посторогенный этапы развития мезозоид гранитоидного магматизма и вулканизма, охватившего также и внегеосинклинальные площади. Третьей особенностью является развитие по восточной периферии пояса современной геосинклинали и зоны молодой кайнозойской складчатости с активным проявлением молодого вулканизма. Таким образом, для Дальнего Востока тектонический фактор играет доминирующую роль в развитии многообразия типов и форм осадконакопления, магматизма, метаморфизма и создания складчатых структур различных порядков, т. е. важнейших элементов инженерно-геологической обстановки.

Формационный анализ складчатых систем Дальнего Востока показал, что многие из них характеризуются близкими, почти одновозрастными формациями. Для ряда складчатых систем характерна нечеткость границ, обусловленная развитием переходных зон. Примером может служить Охотско-Корякская складчатая система, связывающая мезозоиды Северо-Востока с зоной кайнозойской складчатости. Весьма условна и дискуссионна в ряде мест и граница между Монголо-Охотской складчато-глыбовой системой и Сихотэ-Алинской. Таким образом, складчатые системы и области нельзя рассматривать как регионы I порядка. Противоречит такому районированию и своеобразная структура вулканогена, по своей природе и пространственной разобщенности на несколько звеньев гораздо ближе стоящая к инженерно-геологическим регионам низших порядков, определяемых своеобразием формирующих их формаций.

Изложенное выше склоняет авторов к рассмотрению Дальнего Востока как единого крупного региона I порядка. При этом в складчатых системах четко выделяется ряд крупных структурных зон, обладающих набором определенных формаций: характерными чертами литогенеза, магматизма и метаморфизма, а также индивидуальностью гидрогеологических условий и проявления современных геологических процессов: параметров, дающих основание для обособления их в инженерно-геологические регионы II порядка. К ним относятся: 1) срединные массивы — жесткие глыбовые структуры, ограниченные глубинными разломами и сложенные в основном метаморфическими породами архея и протерозоя, местами палеозоя, палеозойскими гранитоидами и относительно маломощными мезозойскими образованиями; 2) поднятия, сложенные палеозойскими породами и являющиеся основанием мезозоид; 3) наиболее распространенные мезозойские складчатые образования, сложенные мощным геосинклинальным комплексом терригенных и вулканогенно-кремнисто-терригенных осадков; их сочетание, степень дислоцированности толщ, тип структур различаются в складчатых системах мезозоид Северо-Востока и Сихотэ-Алинской складчатой области; 4) вулканогенный пояс — своеобразная орогенная структура,

Таблица 3

Схема структурного положения регионов Дальнего Востока

Типы регионов второго порядка	Главные структурные подразделения								
	Верхояно-Колымская складчатая система	Алазейская складчато-глыбовая система	Чукотская складчатая система	Восточно-Азиатский вулканоген (северная ветвь)	Охотско-Корякская складчатая система	Монголо-Охотская складчато-глыбовая система	Сихотэ-Алинская складчатая система	Восточно-Азиатский вулканоген (южная ветвь)	Кайнозойские складчатые системы
Срединные массивы	Омолонский		Восточно-Чукотский			Хинганo-Буреинский			
Складчатые системы палеозойские		Приколымский				Тукурингра-Джагдинский			
мезозойские	Верхоянский	Момский, Олойский	Анюйско-Чукотский	Чукотский,	Пенжинско-Анадырский, Тайско-	Удский, Буреинский	Арсеньевский Сихотэ-Алинский, Нижне-Амурский		
кайнозойские				Охотский	Тайгоносский			Восточно-Сихотэ-Алинский	Сахалинский
					Корякский				Курило-Камчатско-Олюторский
Кайнозойские наложенные впадины	Яно-Колымский				Анадырский	Амуро-Зейский, Верхне-Зейский	Средне-Амурский, Приханкайский		
Регионы окраинных морей	Арктические острова							—	
	шельфы северных и дальневосточных морей								
Группы регионов по природным факторам	Регионы севера Дальнего Востока (Северо-Восток)					Регионы юга Дальнего Востока (Дальний Восток)			Регионы островов и полуостровов Тихоокеанского сектора

состоящая из вытянутых на многие сотни километров систем горстовых поднятий и грабен-синклинальных прогибов, сложенных породами вулкано-плутонических формаций; 5) наложенные кайнозойские впадины — асимметричные грабенообразные структуры относительно простого строения, как правило, представляющие в настоящее время депрессионные морфоструктуры, выполненные мощной толщей слаболитифицирован-

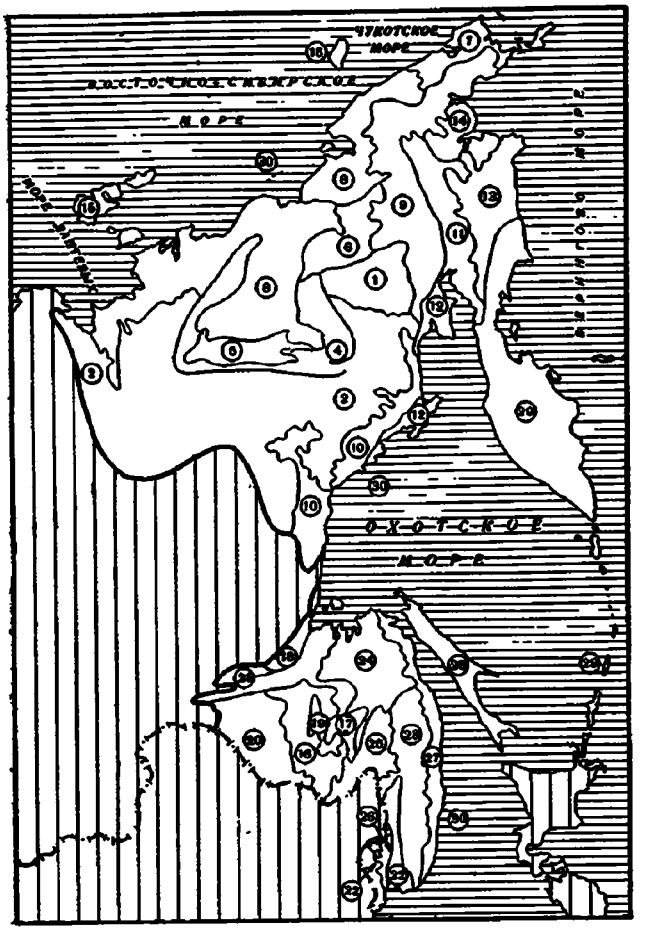


Рис. 10. Схема инженерно-геологического районирования Дальнего Востока.
Регионы второго порядка: 1 — Омолонский; 2 — Верхоянский; 3 — Яно-Колымский; 4 — Приколымский; 5 — Момский; 6 — Олойский; 7 — Восточно-Чукотский; 8 — Анюйско-Чукотский; 9 — Чукотский; 10 — Охотский; 11 — Пенжинско-Анадырский; 12 — Тауйско-Тайгоносский; 13 — Корякский; 14 — Анадырский; 15 — Арктические острова; 16 — Хингано-Буреинский; 17 — Тукурингра-Джагдинский; 18 — Удский; 19 — Буреинский; 20 — Амуро-Зейский; 21 — Верхне-Зейский; 22 — Арсеньевский; 23 — Сихотэ-Алинский; 24 — Нижне-Амурский; 25 — Средне-Амурский; 26 — Приханкайский; 27 — Восточно-Сихотэ-Алинский; 28 — Сахалинский; 29 — Курило-Камчатско-Олюторский; 30 — шельфы северных и дальневосточных морей

ных терригенных осадков; 6) группа структур, принадлежащих кайнозойским складчатым системам, представленным узкими линейными структурами, отличающимися развитием циклически построенных терригенных толщ и туфогенных образований, принадлежащих формациям зеленых туфов и туфито-диатомитовой, а также проявлением молодого вулканизма; крупные кайнозойские наложенные впадины, образующие отрицательные формы рельефа, сложены мощными толщами слабодиагенезированных рыхлых пород. Кроме того, отдельными регионами выделяются арктические острова и шельфы северных и дальневосточных морей как своеобразные в инженерно-геологическом отношении территории. Такой подход к районированию сохраняет историко-генетический принцип систематики всех факторов и определяет, по мнению Г. А. Голодковской (1969), правильность оценки пространственной изменчивости инженерно-геологических условий территории.

В соответствии с перечисленными особенностями на территории Дальнего Востока выделяется 30 регионов II порядка, перечень кото-

рых приводится в табл. 3, а пространственное положение на рис. 10. Рассмотрение схемы показывает некоторое отклонение их от тектонической схемы, изображенной на рис. 2. В данной монографии срединные массивы, небольшие по площади, разбитые на блоки и перекрытые в последующем более молодыми образованиями, описываются как основания мезокайнозойских наложенных впадин или вулканогенного пояса. Это касается Охотского массива в Верхояно-Колымской складчатой системе и Ханкайского в Сихотэ-Алинской складчатой системе. Аномальным является и положение Тукурингра-Баджальского региона, входящего в состав сразу двух складчатых систем Сихотэ-Алинской и Монголо-Охотской.

Хотя основная роль принадлежит геотектоническому фактору, положенному в основу районирования территории, нельзя не учитывать влияние на ее инженерно-геологические условия природно-климатической зональности в связи с протяженностью региона в меридиональном направлении более чем на 4000 км и широким развитием высокогорного рельефа. Климатическими особенностями определяются современное состояние пород, интенсивность денудационного преобразования горных сооружений, в известной мере гидрогеологические условия, а также характер современных геологических процессов. По этим признакам регионы II порядка объединены авторами в три крупные группы (см. табл. 3). Первая из них охватывает регионы Северо-Востока (см. рис. 10), вторая — область развития мезозоид Сихотэ-Алинской и Монголо-Охотской складчатых систем и третья — область молодой кайнозойской складчатости. В таком порядке и проведено их описание во втором разделе.

РАЗДЕЛ II

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

РЕГИОНЫ СЕВЕРА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

ОМОЛОНСКИЙ РЕГИОН

Регион в тектоническом отношении представляет собой Омолонский срединный массив. Большая его часть занята Омолонским нагорьем, с сильно расчлененными средневысотными горами (абс. отм. 1500—1700 м); на северо-западе располагается Юкагирское плоскогорье — слабо расчлененное низкогорное плато (абс. отм. до 1000 м). На фоне горного рельефа выделяются две довольно крупные впадины: Моланджинская и Верхне-Кедонская с холмисто-увалистым и равнинным рельефом. Отрицательные формы рельефа, в том числе и широкие долины рек, часто заболочены. Территория региона дренируется р. Омолон и ее притоками.

Климат описываемой территории резко континентальный. Среднегодовая температура воздуха (по данным четырех метеостанций) минус 13,1—13,9°, среднемесячная температура января минус 36,3—40,8°, июля +10,6—13,3°. Среднегодовое количество осадков 250—300 мм, высота снежного покрова 55—75 см. Из-за сурового климата — сплошное развитие многолетнемерзлых пород.

Регион расположен в зоне лесотундры. Крутые расчлененные склоны поросли кедровым стлаником. Наиболее высокие вершины гор безлесны, покрыты каменистыми осыпями и россыпями.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Омолонский срединный масоив имеет сложное геологическое строение. Фундамент массива образован метаморфическими породами архея. В пределах чехла выделяются три структурных этажа: догеосинклинальный, сингеосинклинальный и орогенный (Муратов, 1974). Отложения догеосинклинального этажа (средний палеозой) принадлежат карбонатно-терригенной и пестроцветной вулканогенно-терригенной формациям. Сингеосинклинальный этаж сложен относительно маломощными отложениями карбонатно-терригенной (карбон-пермь) и песчано-глинистой сероцветной (триас-средняя юра) формаций. Орогенный

этаж образован породами молассовых формаций (поздней юры—раннего кайнозоя), а также эффузивными образованиями и гранитоидами. Рыхлый покров в регионе представлен четвертичными отложениями различного генезиса.

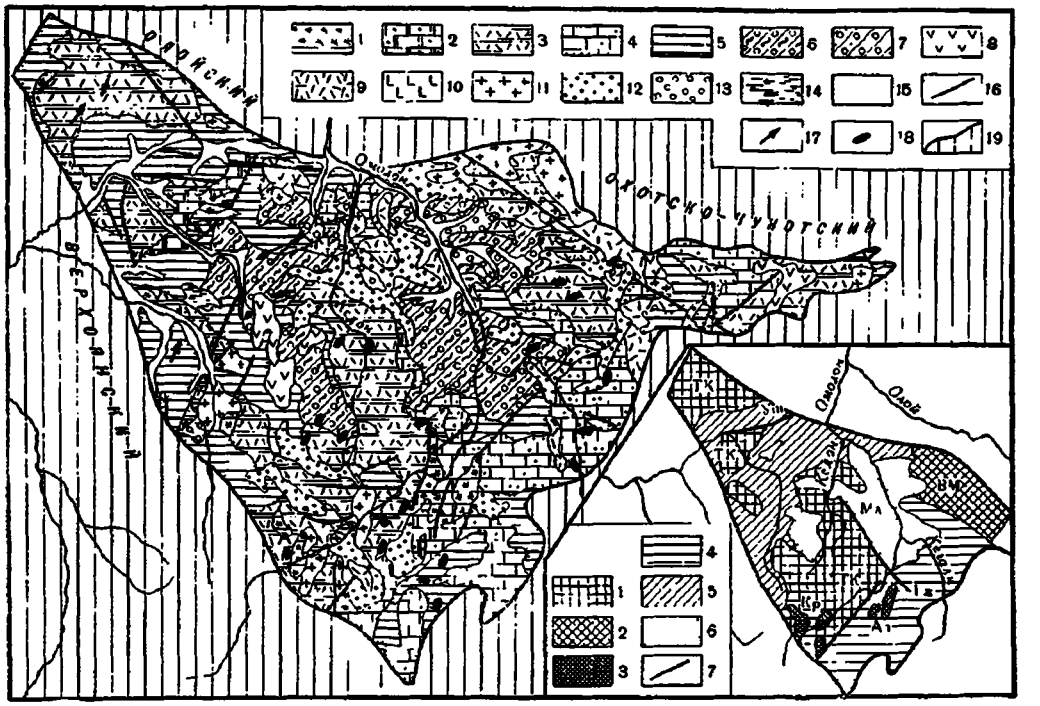


Рис. 11. Схематическая инженерно-геологическая карта Омолонского региона.
Формации: 1 — метаморфическая (AR); 2 — карбонатно-терригенная (O); 3 — пестроцветная вулканогенно-терригенная (D); 4 — карбонатно-терригенная (C—P); 5 — песчано-глинистая сероцветная (T—J_2); 6 — терригенная молассовая (J_3—K); 7 — терригенная молассовая (P); 8 — андезитовая (K); 9 — липаритовая (K); 10 — базальтовая (Q_I); 11 — гранитоидная. Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений: 12 — средне-верхнеплейстоценовые ледниковые (gQ_{II-III}); 13 — верхнеплейстоценовые водно-ледниковые (fQ_{III}); 14 — верхнеплейстоценовые озерно-аллювиальные (laQ_{III}); 15 — голоценовые аллювиальные (aQ_{IV}); 16 — разрывные тектонические нарушения; 17 — участки развития солифлюкции; 18 — наледи; 19 — граница региона и сопредельные территории.
На врезке Схема структурных элементов региона.
1 — Токуро-Кедонские поднятия (ТК); 2 — Верхне-Моланджинское поднятие (ВМ); 3—Ауландинский (Ал) и Коаргычанский (Кр) блоки, 4—Гижигинский прогиб (Гж); 5 — раннемезозойские прогибы; 6 — наложенные позднемезозойские впадины: Моланджинская (Мл) и Верхне-Кедонская (ВК); 7 — региональные разломы: Уш-Урэкчанский (Уш) и Коркодонский (Кор)

Омолонский массив ограничен глубинными разломами древнего заложения, наиболее крупные из которых Коркодонский и Уш-Урэкчанский Массив характеризуется беспорядочно ориентированными складчатыми структурами и обилием разрывных тектонических нарушений. Основными структурными элементами здесь являются Токуро-Кедонские и Верхне-Моланджинское поднятия, Ауландинский и Коаргычанский блоки, Гижигинский прогиб, Моланджинская и Верхне-Кедонская впадины (рис. 11).

Метаморфические породы архея распространены в Ауландинском и Коаргычанском блоках и более мелких крайне ограниченно и представлены гнейсами, гранитами, амфиболитами, кварци-

тами, реже кристаллическими сланцами. Наиболее развиты гнейсы и граниты, взаимосвязанные между собой. Метаморфические породы смяты в очень сложные складки широтного или северо-восточного простирания, осложненные многочисленными разрывами. Все петрографические разности метаморфических пород относятся к крепким и очень крепким породам с коэффициентом крепости 10—15. Объемная масса гнейсов и гранитов (по данным единичных анализов) 2,2—3,3 г/см^3, амфиболитов — 2,5—3,3 г/см^3; временное сопротивление сжатию в водонасыщенном состоянии соответственно $1600 \cdot 10^5$—$2000 \cdot 10^5$ и $2000 \cdot 10^5$—$2500 \cdot 10^5$ Па (данные 2-го ГГУ). Отдельность пород матрацевидная и каравасобразная, поэтому при их разрушении образуются крупноглыбовые элювиальные и склоновые образования. Размер глыб 0,3—2,5 м.

Карбонатно-терригенная формация ордовика распространена ограниченно (бассейн р. Булун) и представлена песчаниками кварц-полевошпатовыми, кварцитовидными или известковистыми, глинистыми сланцами и известняками, переслаивающимися между собой. В основании разреза формации лежат базальные конгломераты мощностью от 5 до 70 м, состоящие из гальки гнейсов, гранитов, кварца и кварцитов. Общая мощность пород формации около 1700 м. Ордовикские отложения смяты в пологие складки северо-восточного простирания. Физико-механические свойства их не изучены.

Пестроцветная вулканогенно-терригенная формация девона распространена в основном в Верхне-Моланджинском и Токуро-Кедонских поднятиях. Она сформировалась в период, когда Омолонский массив испытывал активные тектонические движения, вызвавшие крупные блоковые подвижки и мощную вулканическую деятельность, проявившуюся в раннем девоне в северо-восточной части массива (Верхне-Моланджинское поднятие), а в среднем и позднем девоне — на всей территории массива. Накопление вулканогенно-осадочных толщ на северо-востоке региона происходило в морских условиях, на остальной части — в континентальных. Общим для морского и континентального разрезов формации является пестрая (красная, буровато-красная, розовая, фиолетовая) окраска вулканогенных пород, что отличает их от петрографически сходных мезозойских эффузивов.

В Верхне-Моланджинском поднятии формация представлена красноцветными лавами и вулканокластическими породами кислого, редко основного состава, переслаивающимися с туфогенными песчаниками, туфоконгломератами, кремнистыми алевролитами и аргиллитами, кремнистыми и песчанистыми известняками. Отдельные части разреза существенно вулканогенные или терригенные. Мощность формации 800—2000 м.

В Токуро-Кедонских поднятиях развиты преимущественно пестроокрашенные липариты, дациты и их туфы. Подчиненное значение имеют андезиты, туфы андезитов, туфогенные породы, алевролиты, песчаники, гравелиты и конгломераты. Мощность формации около 2000 м. Породы смяты в пологие и широкие складки с углами падения крыльев 8—10°, несколько более интенсивно они дислоцированы в северо-восточной части региона. По прочностным свойствам они относятся к породам крепким и средней крепости. Коэффициент крепости лавовых разностей (липариты, дациты) 10—15; туфов, туфопесчаников, туфоконгломератов 6—8 и песчано-глинистых сланцев 4—6. Временное сопротивление сжатию в воздушно-сухом состоянии туфов, туфопесчаников, туфоконгломератов $1200 \cdot 10^5$—$1600 \cdot 10^5$ Па (данные 2-го ГГУ). Отдельность липаритов и дацитов преимущественно крупноглыбовая, туфогенно-осадочных пород — плитчатая и мелкоглыбовая.

Карбонатно-терригенная формация каменноугольного и пермского возраста наиболее широко распространена на юго-востоке региона, в Гижигинском и других более мелких прогибах. Формация представлена толщей переслаивающихся песчаников, часто известковистых, известняков, песчано-глинистых сланцев, алевролитов, мергелей с преобладанием в отдельных частях разреза известняков. Местами наблюдаются пачки ритмичного переслаивания песчаников, алевролитов и сланцев мощностью 20—40 м. Общая мощность формации 200—1000 м. Все литологические разности пород средней крепости и крепкие. Наибольшей крепостью обладают породы раннего карбона с коэффициентом крепости песчаников 10—15, алевролитов 8—10. Временное сопротивление сжатию песчаников и алевролитов $1000 \cdot 10^5$—$1200 \cdot 10^5$ Па. Менее крепкие пермские песчаники, сланцы и известняки с коэффициентом крепости 6—8. Временное сопротивление сжатию песчаников и алевролитов $800 \cdot 10^5$—$1000 \cdot 10^5$ Па, песчано-глинистых сланцев и мергелей — $200 \cdot 10^5$—$400 \cdot 10^5$ Па (данные 2-го ГГУ). Объемная масса алевролитов и песчаников 2,5—2,7 г/см^3, известняков — 2,7 г/см^3, глинистых сланцев — 2,8 г/см^3.

Песчано-глинистая сероцветная формация объединяет отложения триаса, ранней и средней юры. Распространена она в основном в периферических частях региона, обнажаясь преимущественно в бортах мезозойских прогибов, сложена песчаниками, чаще всего мелкозернистыми полимиктовыми, глинистыми и песчано-глинистыми сланцами, алевролитами. Литологические разности пород связаны взаимными переходами, перемежаются между собой, иногда ритмично, или слагают отдельные однородные горизонты мощностью 10—15 м и более.

Для нижней части разреза формации, охватывающей отложения раннего и среднего триаса, формировавшиеся при малой активности тектонических движений, характерна незначительная мощность осадков (150—200 м), повышенная их известковистость и тонкообломочный состав терригенных пород, представленных глинистыми и песчано-глинистыми сланцами, заключающими в себе большое количество известковистых конкреций и содержащих прослои известняков мощностью 10—30 см. В отложениях верхнего триаса мощностью до 300 м появляются известковистые алевролиты и глауконитовые песчаники. В разрезе нижне-среднеюрских осадков, отлагавшихся в эпоху контрастных тектонических движений, появляются полимиктовые песчаники, линзы и прослои гравийных и галечных конгломератов и полностью исчезают известняки. Мощность нижне-среднеюрских отложений достигает 500—600 м. Суммарная мощность пород песчано-глинистой сероцветной формации около 1000 м; на участках, прилегающих к Сугойскому прогибу (истоки р. Коркодон), мощность ее значительно увеличивается (одни только нижне-среднетриасовые отложения достигают 1500 м). Отложения песчано-глинистой сероцветной формации дислоцированы относительно слабо. Простирания мезозойских структур повторяют конфигурацию соседних поднятий, сложенных палеозойскими породами. Углы падения пластов на крыльях складок 10—20°.

Породы формации средней крепости. Коэффициент крепости глинистых сланцев и песчаников 4—8, алевролитов и известняков 6—8. Объемная масса глинистых сланцев и известняков 2,3—2,7 г/см^3, песчаников и алевролитов — 2,5—2,7 г/см^3. Временное сопротивление сжатию в воздушно-сухом состоянии глинистых сланцев и известняков $400 \cdot 10^5$—$600 \cdot 10^5$ Па, песчаников — $800 \cdot 10^5$—$1000 \cdot 10^5$, алевролитов — $1000 \cdot 10^5$—$1400 \cdot 10^5$ Па.

Терригенная молассовая формация поздней юры — раннего мела широко распространена в Моланджинской и Верхне-Кедонской впадинах. Нижняя часть разреза (поздняя юра - валанжин) представлена морскими образованиями: конгломератами, гравелитами, полимиктовыми песчаниками или алевролитами и аргиллитами общей мощностью около 2000 м. Контрастность тектонических движений позднеюрского—раннемелового времени обусловила не только грубообломочный материал молассы и большую ее мощность, но и наличие в разрезе пластов лав и туфов андезитов.

Верхняя часть разреза (апт—альб) формации образована в континентальных условиях в период замедленного прогибания участков осадконакопления. Здесь уже основная роль принадлежит песчаникам, алевролитам и аргиллитам, содержащим пласты каменного угля мощностью до 2—3,5 м; конгломераты имеют подчиненное значение. Мощность угленосной части разреза 200—600 м. Нижний морской разрез формации характеризуется довольно тонким переслаиванием пород при мощности слоев 0,2—0,8, редко до 5 м, в континентальном разрезе преобладают слои мощностью 10—25 м. Породы формации собраны в простые часто брахиморфные складки северо-западного простирания. В разрезах формации наблюдаются несогласия, даже угловые, связанные с тектоническими движениями на границе поздней юры и раннего мела и в раннем мелу.

Прочностные свойства пород, так же как и их состав, меняются снизу вверх по разрезу. Песчаники нижней части разреза обычно крепкие с глинистым, хлоритовым, пепловым или известковистым цементом. В континентальной части разреза они грубозернистые некрепкие, а в выветрелом состоянии имеют вид слабо сцементированных. Цемент конгломератов также меняется от туфогенного до песчаного к верхам разреза. Временное сопротивление сжатию, по данным единичных анализов (2-го ГГУ), для морских песчаников и конгломератов составляет $800 \cdot 10^5$—$1400 \cdot 10^5$ Па, а для континентальных — $200 \cdot 10^5$—$100 \cdot 10^5$ Па.

Андезитовая формация[1] мелового возраста ограниченно распространена в центральных частях Моланджинской и Верхне-Кедонской впадин и представлена перемежающимися в разрезе и взаимозамещающимися по площади лавами андезитов и андезито-базальтов, их литокластическими и агломератовыми туфами. Мощность формации 300—800 м.

Липаритовая формация[1] позднего мела ограниченно развита в Моланджинской и Верхне-Кедонской впадинах. Кроме липаритов в разрезе присутствуют дациты, туфы липаритового и дацитового состава. Мощность формации 250—300 м.

Терригенная молассовая формация палеогена ограниченно распространена в Моланджинской впадине и представлена континентальными образованиями — конгломератами и песчаниками, связанными постепенными взаимопереходами с мощностью слоев 3—7 м. Конгломераты валунно-галечные, слабо сцементированные, с содержанием гальки и валунов до 40%; цемент песчаный и туфовый. Песчаники массивные от крупно- до мелкозернистых полимиктовые с туфовым и глинистым цементом, содержат прослои аргиллитов и алевролитов. При выветривании породы формации легко разрушаются с образованием галечников с валунами и слабо сцементированных песков, дресвы и щебня. В мерзлом состоянии эти породы довольно крепкие, в талом — слабые и сыпучие. Мощность формации 150 м. Породы форма-

[1] Подробно описаны в Чукотском и Охотском регионах.

ции дислоцированы пологими складками с углами падения крыльев до 25°.

В невыветрелом состоянии коэффициент крепости песчаников и конгломератов 2—6, алевролитов и аргиллитов — 2—4. Плотность конгломератов и песчаников 2,5 г/см^3, объемная масса соответственно 2,74 и 2,3—2,5 г/см^3 (по единичным анализам 2-го ГГУ).

Породы базальтовой формации[1] раннего плейстоцена слагают вулканическое плато юго-восточной части Верхне-Кедонской впадины и лавовый поток в долине р. Кедон и представлены пузыристыми (с незаполненными порами), реже плотными щелочными базальтами. Мощность базальтового покрова 100—150 м, площадь распространения около 50 км^2. Физико-механические свойства базальтов не изучены.

Интрузивные породы региона представлены гранитоидной формацией раннепалеозойского и мелового возраста. Крупные нижнепалеозойские массивы распространены в юго-западной части региона. Сложены они гранитами и гранодиоритами, иногда гнейсовидной текстуры, что их существенно отличает от более молодых мезозойских. Массивы меловых гранитоидов, представленных гранодиоритами, гранитами, реже субщелочными породами, распространены в различных частях региона. Интрузивные породы региона в инженерно-геологическом отношении практически не изучены.

Ледниковые и водно-ледниковые отложения среднего—позднего плейстоцена широко распространены в Молаиджинской и Верхне-Кедонской впадинах, а также в долинах притоков Омолона в юго-восточной части региона, местами занимают низкие междуречья, выполняя сквозные долины. Представлены они песками, гравийно-галечным и валунным материалом, реже суглинками и супесями, характеризуются изменчивостью состава, плохой сортировкой. Мощность в долинах рек и во впадинах до 40—50 м. Пески обычно полимиктовые от средней крупности до гравелистых, супеси и суглинки в заполнителе и прослоях твердые, реже слабопластичные. Влажность песков колеблется от 14 до 45%, супесей и суглинков — 19—31%. С глубины 0,2—1,5 м породы находятся в многолетнемерзлом состоянии.

Озерно-аллювиальные верхнеплейстоценовые отложения распространены в широких долинах рек, расчленяющих Юкагирское плоскогорье. Представлены они иловатыми супесями и суглинками, связанными постепенными взаимопереходами, горизонтально-слоистыми, реже косослоистыми. Мощность озерно-аллювиальных отложений 10 м и более. С глубины 0,2—0,85 м они находятся в многолетнемерзлом состоянии, отличаются высокой льдистостью, содержат жильные льды мощностью до 2—3 м. По физико-техническим свойствам они аналогичны одноименным отложениям Колымской низменности.

Аллювиальные отложения позднего плейстоцена-голоцена слагают I и II надпойменные террасы и пойму. В строении аллювия большинства рек региона четко выделяются отложения русловой фации, представленной галечниками и гравийно-песчаным материалом, и пойменной, сложенной песками, илами и супесями. Мощность аллювиальных отложений в долинах крупных рек 20—50 м, на малых реках — 5—10 м. Аллювиальные отложения с глубины 0,5—2,2 м находятся в многолетнемерзлом состоянии (за исключением участков таликов с рыхлым сложением). Нормативное давление талых галечниковых грунтов (по данным изысканий в пос. Щербаково) не более $3{,}5 \cdot 10^5$ Па.

---

[1] См. сноску на стр. 96.

Элювиальные и склоновые образования позднего плейстоцена-голоцена развиты в горной части территории региона. Состав и мощность их находятся в зависимости от расчлененности рельефа, состава подстилающих скальных пород и положения в рельефе.

В расчлененном рельефе юго-восточной части региона склоновые образования обычно маломощные (до 3 м) глыбово-щебнистого состава с супесчаным и суглинистым заполнителем в количестве 20—40%. Максимальные значения заполнителя характерны для элювиальных и склоновых образований, развивающихся на глинистых сланцах. На слабо расчлененном Юкагирском плоскогорье большие площади заняты элювиальными и делювиально-солифлюкционными супесями и суглинками, содержащими 5—20% грубообломочного материала. Мощность этих отложений до 6 м. В многолетнемерзлом состоянии с глубины 0,2—1 м они часто льдонасыщены, а в пределах сезоннопротаивающего слоя подвержены солифлюкционному оползанию. Показатели физических свойств элювиальных и склоновых отложений приводятся в табл. 4 (данные 2-го ГГУ).

Мерзлотно-гидрогеологические условия

Омолонский регион расположен в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород мощностью в долинах рек и впадинах 100—200 м, а под возвышенностями — до 500 м. Температура их на глубине 15—30 м минус 3—5°. Под руслами крупных рек и под озерами глубиной более 2 м существуют обычно несквозные, реже сквозные талики. Последние связаны с разгрузкой подземных вод по разломам. Подрусловой талик мощностью до 13 м установлен в долине Омолона на участке от пос. Щербаково до устья р. Кедон. Подземные воды региона практически не изучены. Надмерзлотные воды приурочены к сезоннопротаивающему слою поверхностных отложений. Режим и их состав, видимо, не отличаются от аналогичных вод других регионов. Выходы источников подмерзлотных вод известны в бассейне р. Коркодон, в местах пересечения разломов долинами рек. Дебит источников в архейских метаморфических породах в летнее время составляет 1,5—2 л/с, в конце зимы 0,5 л/с, температура воды соответственно 1—1,2° и 0,5°. Подмерзлотные воды вблизи источников вскрыты буровыми скважинами на глубине 11—17 м. Напор воды до 16,5 м. Дебит скважин при понижении на 0,5 м зимой составил 3,4 л/с, летом — до 10 л/с. Химический состав подмерзлотных вод гидрокарбонатно-сульфатный натриевый или магниево-кальциевый с минерализацией 0,4—0,7 г/л.

Современные геологические процессы и явления

В регионе распространены современные геологические процессы и явления, типичные для горных районов зоны развития многолетнемерзлых пород: солифлюкция, пучение грунтов, термокарст, наледеобразование, морозное выветривание.

Наиболее распространенным процессом является солифлюкция, развивающаяся в сезоннопротаивающем слое склоновых образований особенно на Юкагирском плоскогорье. Она выражается в медленном сползании водонасыщенных суглинистых грунтов с образованием солифлюкционных террас и валов. На террасах р. Омолон в суглинистых

Таблица 4

Физические свойства элювиальных и склоновых образований

Породы	Плотность, г/см³	Объемная масса		Пористость, %	Коэффициент пористости	Естественная влажность, %	Пластичность			Угол естественного откоса, градусы
		влажного грунта, г/см³	скелета грунта, г/см³				предел текучести	предел раскатывания	число пластичности	
Щебень	2,65—2,74	—	—	46,8—54,6	0,9—1,2	—	—	—	—	38
Дресва	2,67	—	—	55	1,2	—	—	—	—	38
Супесь (заполнитель в крупнообломочном грунте)	2,5—2,6	—	—	46—53	0,8—1	—	—	—	—	—
Суглинок (заполнитель в крупнообломочном грунте)	2,6—2,7	—	—	29,5—40	0,4—0,7	—	—	—	—	—
Супесь (делювиально-солифлюкционные отложения) . .	2,58—2,6	2,2—2,3	1,7	31,7—32	0,5	25,8—27,3	27—28	21	6—7	—
Суглинок (делювиально-солифлюкционные отложения) . .	2,74	—	—	—	—	35,6	27	18	9	—

и супесчаных грунтах пойменной фации аллювия наблюдаются бугры пучения высотой до 1 м и диаметром 1—5 м. Термокарст развит в долинах наиболее крупных рек, особенно в местах распространения сильнольдистых озерно-аллювиальных отложений. Наледи относительно широко распространены в долинах рек юго-восточной части региона и в верховьях р. Кедон. Они связаны с выходом подрусловых и подмерзлотных вод.

ВЕРХОЯНСКИЙ РЕГИОН

Регион охватывает большую часть Верхоянско-Колымской складчатой системы, простирающуюся от моря Лаптевых до Охотского моря. Это огромная горная страна, состоящая из среднегорных и низкогорных хребтов и нагорий с абсолютными высотами 700—1500 м. Отдельные хребты (Верхоянский, Черского, Сунтар-Хаята) достигают 2000—3000 м (максимально 3147 м). Склоны гор преимущественно крутые (30—50°), местами обрывистые, к подножию выполаживаются иногда до 10—15°. Горы расчленены глубоко врезанной разветвленной речной сетью и небольшими межгорными впадинами.

Климат резко континентальный, суровый, отличается большими колебаниями температуры и относительно малым количеством осадков. Среднегодовая температура воздуха минус 10—16°. Абсолютные минимумы температур минус 55—70°, максимум плюс 34°. В центральной части региона находится полюс холода северного полушария (пос. Оймякон), для которого характерна наибольшая в мире годовая амплитуда температуры, превышающая 100°. Климат в горах, долинах и впадинах имеет свои особенности. Для впадин в зимнее время типичны чрезвычайно низкие температуры, штили или незначительные ветры, равномерный рыхлый снежный покров. В горах — относительно небольшие морозы, но с сильными ветрами, местами снегозаносы, иногда гололед. Наиболее низкие среднемесячные температуры свойственны долинам горных районов верховьев Яны и Индигирки, что является результатом интенсивно развитой здесь инверсии температуры. Зимой при антициклоне на положительных формах рельефа (вершинах, склонах гор, перевалах) температура воздуха выше, чем в граничащих с ними равнинах, на 2—3,4° на каждые 100 м высоты. Среднегодовое количество осадков 200—500 мм, 70—80% которых приходится на летние месяцы.

Растительность и почвы имеют ясно выраженную широтную и вертикальную зональность. На севере развиты преимущественно тундровые ландшафты, на юге — северотаежные и таежные горные. Регион характеризуется повсеместным развитием многолетней мерзлоты и повышенной сейсмичностью до 6—8 баллов.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Верхоянско-Колымская складчатая система состоит из ряда крупных линейных структур, протягивающихся на сотни километров: Верхоянского и Адыча-Детринского мегантиклинориев, Янского мегасинклинория, Инъяли-Дебинского синклинория и пригеосинклинальных прогибов — Аллах-Юньского, Сугойского и Ольджойского (см. рис. 2).

В истории развития региона выделяется три крупных этапа (см. рис. 3). Первый — отвечающий геосинклинальной стадии развития в период от раннего карбона до средней юры — характеризуется почти повсеместным накоплением морских песчано-сланцевых осадков (вер-

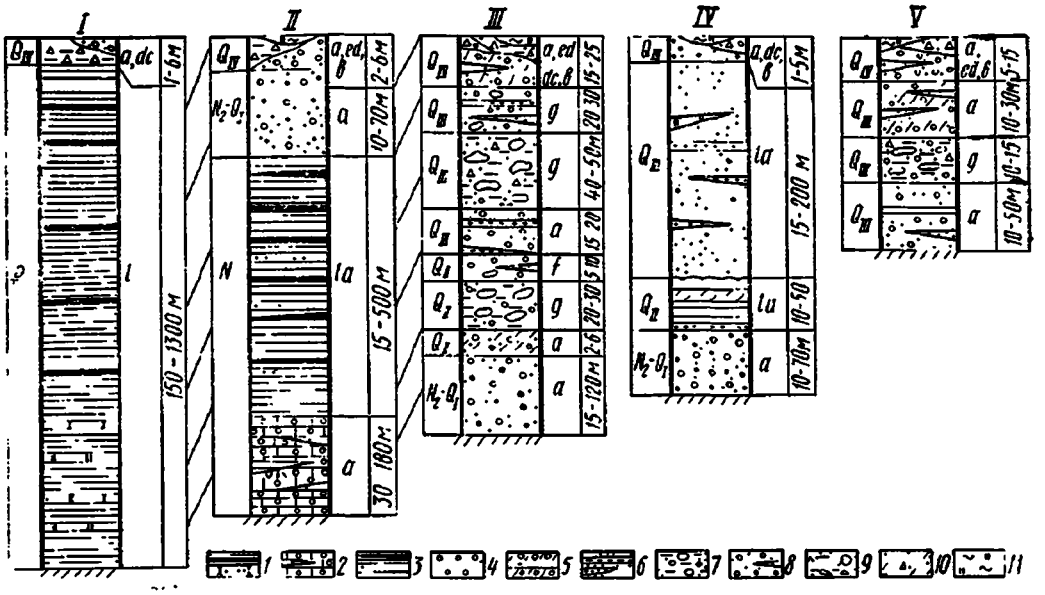


Рис. 13. Сводные литолого-геологические разрезы различных типов кайнозойских впадин.

I—V — разрезы. Угленосная моласса: 1 — озерные глины с прослоями алевролита и песчаника, с линзами и пластами бурого угля (P); 2 — аллювиальные конгломераты с песчано-глинистым цементом (N); 3 — озерно-аллювиальные глины с прослоями песка, линзами и пластами бурого угля (N); 4 — аллювиальные слоистые галечники с гравийно-песчаным заполнителем (N_2—Q_I). Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений: 5 — аллювиальные гравийно-галечные отложения с песчаным и супесчаным заполнителем (aQ_{II-IV}); 6 — озерно-аллювиальные переслаивающиеся пески, супеси, глины (laQ_{II-IV}); 7 — ледниковые глыбы, валуны, галька, щебень с дресвяно-песчано-глинистым заполнителем (gQ_{II-III}); 8 — водноледниковые песчано-галечные отложения с прослоями и линзами песков (fQ_{II-III}); 9 — элювиально-делювиальные глыбы, щебень с дресвяно-песчано-глинистым заполнителем (edQ_{IV}); 10 — делювиально-солифлюкционные щебень, дресва с песчаным и суглинистым заполнителем (dsQ_{IV}); 11 — озерно-болотные илы, суглинки, торфяники (lhQ_{IV})

хоянский комплекс) мощностью 12—15 км, принадлежащих песчано-глинистой сероцветной и флишоидной формациям (рис. 12). На ограниченных участках формировались породы терригенно-карбонатной, угленосной и молласоидной формаций. Второй этап — позднеюрский-раннемеловой — характеризует заключительную орогенную стадию геосинклинального развития. В этот этап в небольших наложенных впадинах сформировались породы группы молассовых формаций осадочного и вулканогенно-осадочного состава. С периодами оживления тектонической деятельности в это время связано образование вулканогенных и интрузивных формаций в краевых частях региона. В третий, послегеосинклинальный этап, охватывающий кайнозойское время, формируются осадки, выполняющие наложенные впадины. С этим этапом связано формирование современного рельефа и накопление маломощных элювиальных и склоновых отложений в горной части региона и большей мощности аллювиальных, озерно-аллювиальных, ледниковых и водноледниковых образований в долинах рек и межгорных впадинах (рис. 13).

Терригенно-карбонатная формация палеозойского возраста распространена лишь на севере региона в районе хр. Хараулах и представлена известняками, доломитами, ангидритами, мергелями, сланцами, аргиллитами, кремнистыми породами, конгломератами. Мощность отложений 200—1100 м. Породы обладают достаточно высокой прочностью. Физико-механические свойства их не изучены.

Песчано-глинистая сероцветная формация раннего карбона—позднего триаса пользуется широким распространением и участвует в строении всех крупных структур. Представлена она толщей сложно переслаивающихся песчаников, сланцев, аргиллитов и алевролитов с подчиненными им прослоями, конгломератов и пирокластических пород, местами — углей [1]. Мощность пачек от 20 до 350 м. В их составе обычно преобладают одна или две литологические разновидности. В отдельных пачках переслаивание носит флишоидный характер [1].

В период формирования этих отложений интенсивные погружения прогибов чередовались с местными поднятиями, сопровождались частыми подвижками и размывами, слабой вулканической деятельностью. Происходила неоднократная смена морских фаций лагунно-морскими, а местами и лагунно-континентальными. Это обусловило, несмотря на однообразие отложений, чрезвычайную пестроту литологического состава в отдельных разрезах.

Молассоидная формация раннего-среднего триаса развита в локальных прогибах на западном склоне Верхоянского поднятия. Это грубообломочные породы пестрого состава мощностью 600—800 м, нередко содержащие пласты, линзы и прослои углей.

Флишоидная формация ранней-средней юры почти полностью слагает Инъяли-Дебинский синклинорий, Ольджойский и Сугойский прогибы. Сложена она ритмично чередующимися песчаниками, сланцами, аргиллитами и алевролитами. Мощность пачек ритмично чередующихся пород от десятков сантиметров до 15—70 м. Общая мощность пород формации от 400 до 5000 м. Породы группы терригенных формаций дислоцированы по-разному. Для каменноугольно-пермских отложений характерны антиклинали с пологими и широкими сводами и крутыми крыльями, сменяющиеся узкими килевидными синклиналями, протягивающимися на значительные расстояния. В антиклиналях наиболее широко распространены асимметричные короткие линейные складки с размахом крыльев от нескольких сотен метров до нескольких километров и углами падения крыльев 45—50°. Триасовые отложения в районах слабых дислокаций смяты в пологие и широкие складки с углами падения пластов на крыльях 10—30°; в зонах линейной складчатости складки часто изоклинальные и опрокинутые с размахами крыльев от 1 до 15 км, чаще 4—6 км, осложненные мелкими складками с углами падения пород на крыльях 50—90°.

Юрские отложения в пределах Инъяли-Дебинского синклинория большей частью смяты в узкие линейные складки различных порядков. Падения крыльев складок крутые (60—80°) вплоть до вертикальных и опрокинутых, широко развита мелкая складчатость. В Ольджойском прогибе обширные участки пологих залеганий флишоидных отложений чередуются с зонами брахиморфной складчатости, многочисленные разрывные нарушения. В Сугойском прогибе юрские породы дислоцирова-

[1] В местах значительного распространения на карте показана угленосная, или флишоидная, формация.

ны в крупные брахиморфные структуры с пологими углами наклона крыльев от 5 до 30°. Развивающиеся на крыльях мелкие складки с более крутыми углами наклона (60° и более). Иногда среди них наблюдаются опрокинутые и лежачие складки.

Песчаники в терригенных формациях кварцево-полевошпатовые, полимиктовые, реже туфогенные и известковистые, плотные, сцементированы карбонатным, кремнистым, реже железистым цементом, массивные, плитчатые и слоистые. Сланцы глинистые, песчано-глинистые, углистые. Коэффициент крепости сланцев и алевролитов 3—6, песчаников, известняков, туфогенных алевролитов — 5—10, ороговикованных песчаников — 15—17.

Прочность и устойчивость пород в массиве зависят от их трещиноватости и характера заполнения трещин льдом. Максимальная трещиноватость и льдистость наблюдаются у глинистых сланцев и алевролитов до глубины 15—25 м. Так, в районе пос. Депутатского модуль трещиноватости массива сланцев 100—150, алевролитов — 30—60, песчаников — 10—15. Направление трещин различное, углы падения колеблются от 0—10 до 30—85°. Ширина трещин изменяется от долей миллиметра до 15 мм, редко до 5—8 см. Трещины заполнены льдом и льдистым мелкоземом, реже они пустые. Лед в виде прожилков, прослоев, линз, редко в виде клиньев. С глубиной льдистость уменьшается от 47 до 1% и лед содержится в виде пленок и цемента. С поверхности (0,5—3 м) глинистые сланцы легко распадаются на мелкую щебенку самой разнообразной формы и размеров с супесчано-суглинистым заполнителем. При протаивании они превращаются в рыхлую массу. Суммарная влажность таких грунтов колеблется в очень широких пределах—от 6,9 до 54,8%, а в среднем 23,1%, что свидетельствует о неравномерности распределения в грунте льда. Пористость изменяется от 16,5 до 60,2%, в среднем составляет 33,4% (данные Сарылахского разведочно-эксплуатационного предприятия). Для глинистых сланцев из этой зоны в районе пос. Тикси влажность изменяется от 2,8 до 47%; объемная масса 1,81—2,7 г/см^3; плотность 2,62—2,71 г/см^3. Плотность пород терригенных формаций колеблется от 2,68 до 2,88 г/см^3. Величина объемной массы пород в значительной степени зависит от условий их залегания. По данным Якутского геологического управления, относительно высокие значения объемной массы (2,65—2,71 г/см^3) присущи породам Эльги-Неро-Тарынской зоны линейной складчатости. В Аябо-Куйдусунской зоне куполовидных и сундучных складок объемная масса пород достигает только 2,58—2,6 г/см^3. Повышенной объемной массой обладают стратиграфически нижележащие горизонты, а также породы, находящиеся в зонах контактного метаморфизма. Так, в зоне контакта Тонор-Арангасского массива объемная масса песчаниково-сланцевых отложений позднего триаса 2,66—2,67 г/см^3 (редко до 2,72 г/см^3), в контактной зоне Нелькапского массива 2,63—2,65 г/см^3, а в местах, где эти породы ороговикованы, достигает 2,82—2,90 г/см^3. Временное сопротивление сжатию изменяется в очень широких пределах: для песчаников в воздушно-сухом состоянии от $850 \cdot 10^5$ до $3340 \cdot 10^5$ Па (в среднем $1600 \cdot 10^5$ Па), алевролитов — от $300 \cdot 10^5$ до $2800 \cdot 10^5$ Па (в среднем $1400 \cdot 10^5$ Па), сланцев — от $590 \cdot 10^5$ до $3130 \cdot 10^5$ Па (в среднем $1600 \cdot 10^5$ Па); в водонасыщенном состоянии соответственно для песчаников от $280 \cdot 10^5$ до $3080 \cdot 10^5$ Па (в среднем $1400 \cdot 10^5$ Па), для алевролитов — от $170 \cdot 10^5$ до $2740 \cdot 10^5$ Па (в среднем $1250 \cdot 10^5$ Па) и для сланцев — от $100 \cdot 10^5$ до $2920 \cdot 10^5$ Па (в среднем $1100 \cdot 10^5$ Па). Физические свойства пород флишоидной формации приводятся в табл. 5.

Таблица 5

Физические свойства пород флишоидной формации в районе пос. Депутатского
(данные Ленгидепа)

Показатели	Песчаники	Алевролиты	Сланцы
Плотность, г/см³	2,69—2,88	2,68—2,84	2,68—2,88
Объемная масса породы, г/см³:			
талой	2,52—2,87	2,4—2,92	2,51—2,84
мерзлой	2,33—2,93	2,43—2,84	2,33—2,72
скелета мерзлой породы	2,2 -2,7	2,34 -2,84	2,2—2,88
Влажность, %	1—13	1—12	1—11
Водопоглощение, %	0,15—0,43	0,03—3	0,05—3
Теплопроводность породы, Вт/(м·К):			
мерзлой	546000	546000	126000—378000
талой	1000	1000	140—666

На мерзлых породах юрской флишоидной формации построено большинство зданий пос. Депутатского. По экспериментальным данным экспедиции Ленгидепа, по степени просадочности в пределах верхней части мерзлой толщи выделяются следующие зоны: 1) до глубины 2 м породы сильно просадочные и просадочные — при объемной льдистости 20—50% степень просадочности 0,05—0,1; 2) на глубине 2—5 м породы просадочные — при льдистости 10—20% степень просадочности 0,02—0,05; 3) на глубине 5—10 м и более породы непросадочные — при льдистости около 10% степень просадочности 0,01—0,02, при льдистости менее 10% степень просадочности около 0,01. Модуль деформации для оттаявших песчаников в пределах 10 м глубины $50000 \cdot 10^5$ Па, для алевролитов — $30000 \cdot 10^5$ Па, для сланцев — $10000 \cdot 10^5$ Па, для сильно разрушенных сланцев может снизиться до $1000 \cdot 10^5$ Па. На глубине более 10 м модуль деформации для мерзлых и оттаявших пород $100000 \cdot 10^5$ Па. В соответствии с этими данными нормативное давление для песчаников как в мерзлом, так и в оттаявшем состоянии $15 \cdot 10^5$ Па, для алевролитов — $10 \cdot 10^5$ Па, для разборной скалы талых сланцев не более $6 \cdot 10^5$ Па, для сильно разрушенных сланцев не более $3 \cdot 10^5$ Па, а для мерзлых при температуре минус 2° увеличивается до $10 \cdot 10^5$ Па.

Терригенная молассовая формация поздней юры—раннего мела незначительно развита в Ольджойской и некоторых других впадинах, расположенных внутри Инъяли-Дебинского синклинория. Формация представлена морскими осадками — переслаивающимися мелко-, реже крупнозернистыми полимиктовыми, иногда туфогенными песчаниками, глинистыми и песчано-глинистыми сланцами, аргиллитами и алевролитами с редкими прослоями конгломератов и гравелитов. В верхних частях разреза в зоне сочленения с Колымским массивом присутствуют вулканогенные породы — в основном лавы, туфы и туфобрекчии липаритов и андезитов. Преобладают песчаниковые или сланцевые пачки мощностью от 7 до 100 м, иногда наблюдается тонкое и ритмичное переслаивание песчаников, алевролитов и сланцев при мощности слоев от нескольких сантиметров до 5 м, реже более. Мощность морской молассы 2000—3700 м. Физико-механические свойства пород этой формации близки вышеописанным породам группы терригенных формаций.

Породы вулканогенно-терригенной молассовой формации поздней юры распространены крайне ограниченно

и выполняют Сумуно-Дарпирский прогиб, Лыглыхтанскую, Аркагалинскую, Омсукчанскую и Хиникенскую впадины. Они представлены перемежающимися между собой аргиллитами, алевролитами, мелкозернистыми полимиктовыми и туфогенными песчаниками, лавами, туфами и туфобрекчиями дацитов, андезитов, андезито-базальтов, реже липаритов. Мощность отдельных слоев пород от первых метров до 250 м и более. Мощность пород формации 1600—2000 м. Породы смяты в линейные и крупные брахиморфные складки с углами падения на крыльях 10—70°.

Угленосная моласса мелового возраста выполняет впадины: Омсукчанскую, Лыглыхтахскую, Дарпирскую, Черноозерскую, Аркагалинскую, Хиникенскую, Средне-Берелехскую и др. Формация представлена континентальными образованиями — полимиктовыми и туфогенными песчаниками, алевролитами, аргиллитами, глинистыми и углистыми сланцами и конгломератами, содержащими пласты каменных углей мощностью от нескольких сантиметров до 3,5 м, иногда с заметным участием туфогенного материала. Залегает она с резким угловым несогласием на размытой поверхности более древних пород. Литологический состав формации обычно не выдержан ни в разрезе, ни по площади. Мощные пласты отдельных литологических разностей сменяются тонким ритмичным их переслаиванием. Мощность отдельных горизонтов колеблется от нескольких метров до 300 м. Мощность прослоев от 3 до 100 м. Общая мощность пород формации 200—300 м, и только в Дарпирской впадине она превышает 1000 м. Породы повсеместно смяты в брахиморфные и линейные складки, особенно напряженные в зонах разломов. Углы падения пород на крыльях складок от 10 до 35°, а в дополнительных складках, осложняющих первичные структуры, иногда увеличиваются до 70°.

Породы формации средней прочности и слабые. Некоторые разности (аргиллиты, сланцы, алевролиты) с поверхности быстро разрушаются, образуя щебнисто-дресвяно-глинистые грунты, характеризующиеся в целом повышенной влажностью (от 13 до 90%). Мерзлые трещиноватые породы при оттаивании под нагрузкой могут давать осадку.

Породы дацито-липаритовой и андезитовой формаций позднего мезозоя распространены вдоль юго-восточной границы региона. Их образование связано с излияниями лав в основном кислого состава в континентальных условиях. Резко преобладают липариты, дациты и их туфы, местами в верхней части разреза появляются андезито-дациты, андезиты, реже андезито-базальты, слагающие субвулканические тела и покровы. Мощность отдельных покровов до 80 м. Эффузивные толщи смяты в пологие широкие складки с углами падения на крыльях 10—15° и залегают с резким угловым несогласием на подстилающих отложениях. Коэффициент крепости лавовых разностей 10—15, туфов — 8—10. Объемная масса скелета эффузивных пород 2—2,6 г/см^3, водопоглощение 10—12%, временное сопротивление сжатию $250 \cdot 10^5$—$650 \cdot 10^5$ Па (в районе пос. Депутатского).

Породы формации трещиноваты. Трещины шириной от нескольких миллиметров до первых сантиметров заполнены льдистой супесью и суглинком. Мощность сильновыветрелых пород 1,5—3 м, но иногда зоны интенсивного выветривания проникают и на большую глубину в виде карманов и корней. Так, по данным Дальстройпроекта, местами андезиты и андезито-базальты на глубине до 25, иногда до 40 м и более (район пос. Мяунджа) превращены в щебень и дресву, сцементированные льдом. Их возможная осадка при оттаивании в отдельных

случаях может превышать 30 см на 1 м породы (рис. 14, а, б). Тепловая осадка льдистых грунтов происходит сразу же после протаивания, причем разрушенные до дресвы и щебня андезито-базальты уплотняются под действием собственной массы (Ведерников, 1969).

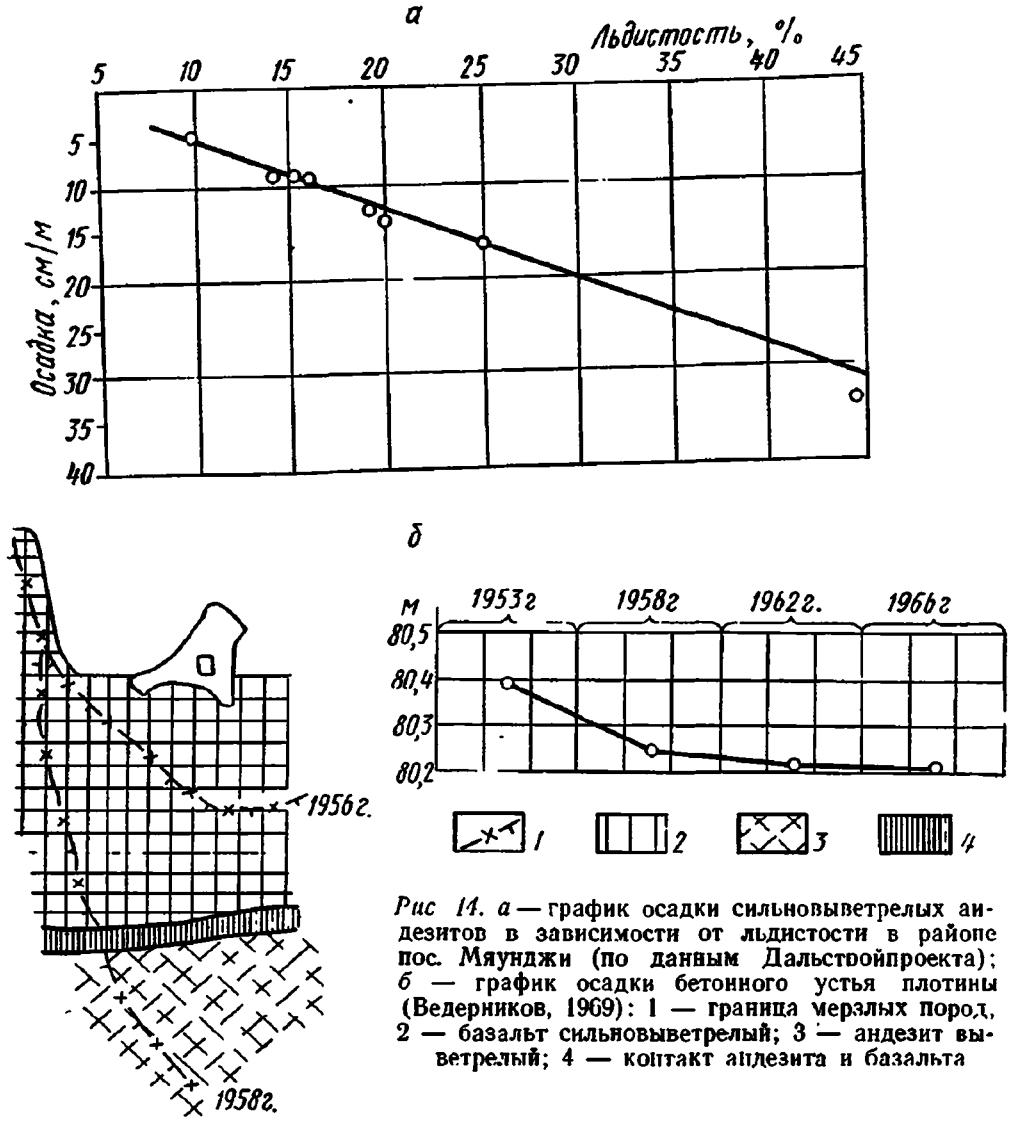


Рис 14. а — график осадки сильновыветрелых андезитов в зависимости от льдистости в районе пос. Мяунджи (по данным Дальстройпроекта); *б* — график осадки бетонного устья плотины (Ведерников, 1969): 1 — граница мерзлых пород, 2 — базальт сильновыветрелый; 3 — андезит выветрелый; 4 — контакт андезита и базальта

Гранитоидная формация поздней юры-раннего мела, реже позднего мела распространена в основном в восточной и северо-восточной частях региона. Наиболее насыщен гранитоидами Инъяли-Дебинский синклинорий в бассейне верховий р. Колымы. Интрузивные породы слагают крупные батолитоподобные тела, мелкие штоки и межформационные залежи. Площадь отдельных массивов достигает 7300 км², но чаще 400—800 км². Мелкие массивы от 20 до 150 км².

Большинство гранитоидных интрузий сложено среднезернистыми порфировидными биотитовыми и роговообманково-биотитовыми гранитами, в эндоконтактных зонах — лейкократовыми гранитами, гранит-порфирами, а также адамеллитами и гранодиоритами. Малые интрузии

пестрого петрографического состава — от гранитного до габбро. Структуры и текстуры пород очень разнообразны. Преобладают порфировые структуры.

Все интрузивные породы характеризуются большой крепостью. Гранитоиды в районе пос. Депутатского объемной массой 2,55—2,7 г/см³, пористостью 0,4—5%, водопоглощением 0,3—0,4% и временным сопротивлением сжатию $300 \cdot 10^5$—$1000 \cdot 10^5$ Па. Физико-механические свойства среднезернистых порфировидных гранитов из района Колымской ГЭС приводятся в табл. 6 по обобщенным данным Ленгидепа.

Таблица 6

Физико-механические свойства среднезернистых порфировидных гранитов

Породы	Объемная масса, г/см³		Суммарная влажность, %	Коэффициент пористости	Сопротивление сдвигу оттаявших грунтов		Временное сопротивление сжатию, 10^5 Па
	влажного грунта	скелета грунта			коэффициент трения	сцепление, 10^5 Па	
Крепкие слаботрещиноватые	2,64	2,63	0,5	0,015	0,7	3	1200
С повышенной трещиноватостью	2,63	2,59	1,4	0,031	0,65	2	1000
	2,62	2,6	1	0,027			
Зоны тектонического нарушения	2,5	2,38	5	0,123	0,55	0	50—200
	2,5	2,4	4	0,112			
Зоны интенсивного выветривания	2,54	2,48	2,8	0,076	0,6	0,2	до 600
	2,56	2,5	2,5	0,068			

Примечание. В числителе даиные для мерзлых грунтов, в знаменателе—для оттаявших, после оттока свободной воды и сохранения в грунте только полной влагоемкости. Коэффициент трения и сцепление приводятся в соответствии с СН-91-60 для контакта бетон—порода.

В зоне выветривания граниты представляют собой разборную породу и содержат избыточное количество льда. Плотность гранитов различной степени выветрелости составляет 2,67 г/см³. Вне зон выветривания нормативное давление на гранитоиды практически не ограничено. Трещиноватость гранитоидов неравномерная. При строительстве Колымской ГЭС было выявлено, что мощность участков повышенной трещиноватости колеблется от 1 до 20 м. Ширина трещин от нескольких миллиметров до 10 см.

Территенная молассовая формация палеогена выполняет ряд межгорных впадин (см. рис. 13) и представлена в основном глинами с прослоями алевролита, песчаника и бурого угля. Мощность их в Кенгдейской впадине 1300 м, в Хотинской 140 м. В первой наблюдается моноклинальное залегание пород с падением в северо-западном направлении, во второй — горизонтальное.

Глины тяжелые, местами песчанистые, в верхней части толщи уплотненные, содержат 10% мелких игольчатых кристаллов льда. В талом состоянии глины пластичные. Угли бурые тонкополосчатые, однородные, трещиноватые залегают в виде прослоев (мощностью до 6 м), линз и пропластков, неравномерно распределенных в толще глин. При оттаивании в зоне выветривания легко рассыпаются на обломки 3—10 см. Прослои песчаника и алевролита играют незначительную роль

в разрезе и слагают его нижнюю часть. Песчаники тонко- и мелкозернистые кварцево-полевошпатовые с известково-глинистым цементом. Алевролиты по составу и характеру цемента близки к песчаникам.

Терригенная молассовая формация миоцена сложена рыхлыми конгломератами с линзовидными прослоями песков и песчанистых глин. Грубообломочный материал представлен главным образом хорошо окатанной галькой песчаников, реже известковистых пород, слабо сцементирован песчано-глинистым материалом. Мощность отложений формации 30—180 м.

Терригенная молассовая формация плиоцена широко развита, часто залегает близко от поверхности (впадины Джелканская, Сеймчано-Буюндинская). Она сложена глинами с линзами и пластами лигнитов и бурых углей, в верхней части — с прослоями песка. Мощность от 15 до 500 м. Глины аргиллитоподобные с большим содержанием растительного детрита. Песчаная и алевритовая фракции представлены главным образом хорошо окатанным кварцем (50—70%), каолинизированными полевыми шпатами и слюдами, глинистая — сильновыветрелыми гидрослюдами, близкими к каолиниту. Гранулометрический состав отложений Джелканской впадины указывает на высокое содержание глинистой фракции, в среднем до 57%, в том числе фракций менее 0,001 мм — от 21 до 35%. Количество пыли в среднем 32%, песка в среднем 11%.

Аллювиальные отложения позднего плиоцена-раннего плейстоцена представлены хорошо окатанными галечниками мощностью от 10 до 70 м, часто венчающими разрезы отдельных впадин. Гранулометрический состав их в Делянкирской впадине характеризуется преобладанием фракции более 10 мм (43%) и высокой примесью гравия (23%). В большинстве случаев заполнителем служит сильноглинистый песок (глинистый материал гидрослюдистого состава). Галька отличается значительной выветрелостью (некоторые настолько разложены, что разрушаются под нажимом пальцев). Отложения промерзлы на всю мощность (10—70 м).

Аллювиальные отложения среднего и позднего плейстоцена слагают до восьми уровней террас (от 3 до 400 м высоты). Они представлены в нижней части разреза гравийно-галечниковыми образованиями с песчаным и супесчаным заполнителем (русловая фация), в верхней — песком, илом, глиной (пойменная фация). На равнинных участках территории в аллювии преобладает пойменная фация, в горных — русловая. Мощность аллювия от 1—5 до 30 м, реже более.

В гранулометрическом составе галечников из надпойменной террасы р. Берелех с глубины 8—8,4 м (под аппым ВНИИ-1) преобладает фракция крупнее 10 мм (от 72 до 91%), заполнитель представляет собой лед с включениями пылеватого песка. Физические свойства этого галечника в мерзлом состоянии приведены в табл. 7.

Подавляющая часть многолетнемерзлых гравийно-галечных грунтов в естественном залегании находится в состоянии полного влагонасыщения и характеризуется базально-массивной, реже слоистой криогенной текстурой. По определениям В. Н. Тайашева (1963, 1966), количество незамерзшей воды в песчаном и супесчаном заполнителе крупнообломочных пород с повышением температуры возрастает (рис. 15), что уменьшает прочность крупнообломочных пород и оказывает существенное влияние на их тепловые и электрические свойства.

По результатам исследований на сдвиг многолетнемерзлого галечника построены кривые ползучести (рис. 16). Установлено, что с уменьшением прилагаемой на монолит нагрузки и уменьшением угла накло-

Таблица 7

Физические свойства многолетнемерзлого галечника
(по 18 монолитам, данные ВНИИ-1)

Показатели	Грунт	Заполнитель	Льдистый заполнитель
Объемная масса, г/см³ . . .	$2{,}25\ \frac{0{,}09;\ 4}{2{,}06—2{,}42}$	—	$1{,}64\ \frac{0{,}17;\ 10}{1{,}22—1{,}93}$
Естественная влажность, %	$12{,}05\ \frac{1{,}56;\ 13}{10{,}03—16{,}42}$	$63\ \frac{22{,}6;\ 36}{39{,}6—136{,}7}$	—
Пористость, %	$0{,}25\ \frac{0;\ 0}{0{,}18—0{,}3}$	$0{,}65\ \frac{0{,}08,\ 12}{0{,}48—0{,}81}$	—
Коэффициент пористости . .	$0{,}33\ \frac{0{,}07;\ 21}{0{,}21—0{,}42}$	$1{,}74\ \frac{0{,}66,\ 38}{1{,}06—4{,}16}$	—

Продолжение табл. 7

Показатели	Скелет грунта	Крупный скелет	Скелет заполнителя
Объемная масса, г/см³ . . .	$2\ \frac{0{,}1—5}{1{,}86—2{,}19}$	$1{,}58\ \frac{0{,}13;\ 8}{1{,}36—1{,}9}$	$1{,}04\ \frac{0{,}61;\ 59}{0{,}51—1{,}37}$
Естественная влажность, %	—	—	—
Пористость, %	—	$0{,}41\ \frac{0{,}05;\ 0}{0{,}28—0{,}49}$	—
Коэффициент пористости . .	—	$0{,}69\ \frac{0{,}14;\ 20}{0{,}4—0{,}95}$	—

Примечание. Цифровые значения в таблице даны по формуле $x\ \frac{\delta;\ v}{A}$, где x—средневзвешенное значение, δ—стандартное (среднеквадратическое) отклонение; v—коэффициент изменчивости; A—размах выборки (min и max).

на плоскости сдвига к горизонтали время перехода деформации из стадии установившейся ползучести в стадию прогрессирующего течения возрастает. Кривые ползучести показывают, что процессы развития деформации в мерзлых галечниках аналогичны таким же процессам в мерзлых дисперсных грунтах. На них достаточно четко выражены все три участка, соответствующих различным стадиям деформирования грунтов. На первом участке отображается неустановившаяся ползучесть с уменьшающейся скоростью деформации. Второй участок, выражающий стадию установившейся ползучести, показывает деформирование с практически постоянной скоростью; наблюдается линейная зависимость деформации от времени. Третий участок кривой отражает деформацию с возрастающей скоростью,

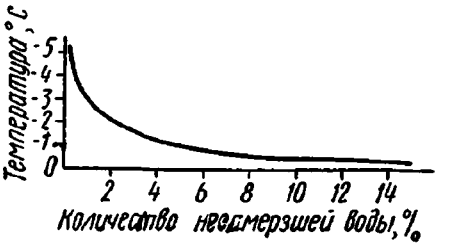


Рис. 15. Кривая зависимости незамерзшей воды от температуры

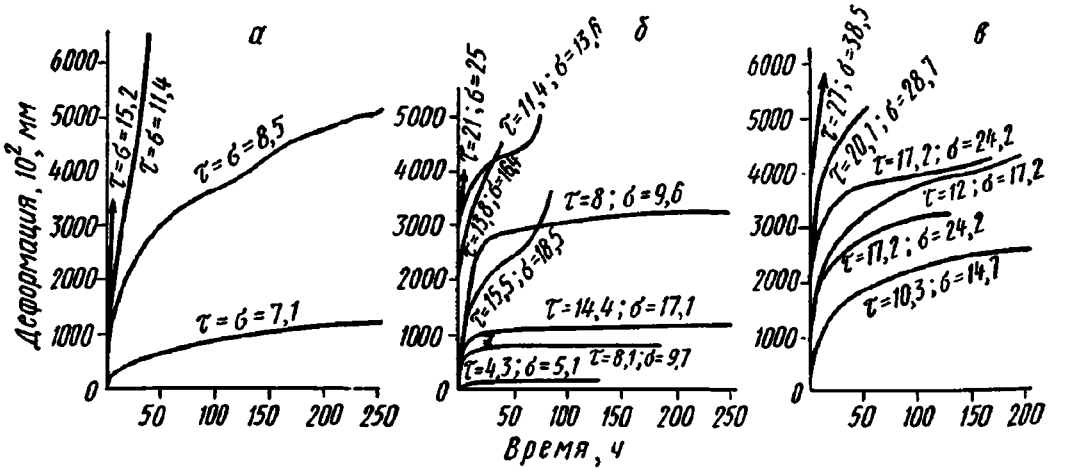


Рис. 16. Кривые ползучести многолетнемерзлого галечника при температуре минус 4,5—5° для соотношения соответственно равным 1 (*а*); 1,19 (*б*) и 1,43 (*в*), выраженные в 10^5 Па (по данным В. Н. Тайбашева)

неизбежно заканчивающуюся полным разрушением образца или потерей его устойчивости.

На основании кривых ползучести построены кривые длительной прочности для каждой серии опытов при $\frac{\delta}{\tau}$ =const, где δ — нормальная нагрузка, τ — сопротивление сдвигу (рис. 17, *а*), показывающие,

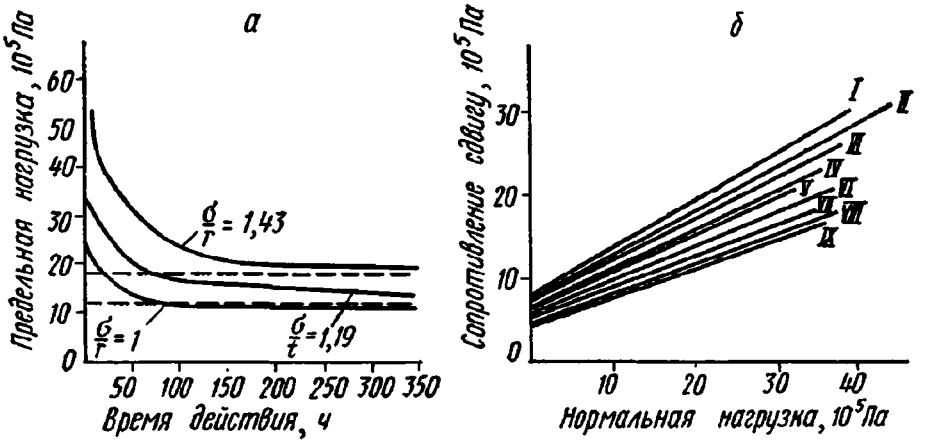


Рис. 17. а — кривые длительной прочности многолетнемерзлого галечника при сдвиге (температура минус 4,5—5°) для соотношения соответственно равным 1; 1,19; 1,43 (по данным В. Н. Тайбашева); *б* — диаграмма сдвига многолетнемерзлого галечника при температуре минус 4,5—5°: I — через 10 мин; II — 2 ч; III — 10 ч; IV — 25 ч; V — 50 ч; VI — 100 ч; VII — 200 ч; VIII — через 350 ч; IX — длительный сдвиг

что снижение сопротивления сдвигу на 50% от его значения при быстром (10-минутном) приложении нагрузки происходит в течение первых 50 ч. Прочность грунта во времени уменьшается в 2,7 раза (кривая III) и в 3,3 раза (кривая I). По результатам исследования ползучести и

снижения прочности мерзлых галечников построена диатрамма их прочности (рис. 17, *б*), анализ которой дает следующие прочностные характеристики галечного грунта.

Время действия предельной нагрузки, ч	Сцепление, 10^5 Па	Угол внутреннего трения
0,17	7,6	29°46
2	7,0	28°20
10	6,6	27°
25	6,0	26°20
50	5,5	25°30
100	5,0	23°50
200	4,8	22°40
350	4,6	22°
Длительный сдвиг	4,3	21°51

Эффективная теплоемкость мерзлого галечника (34 определения) исследовалась в диапазоне температур минус 10—0,5°, а многолетнемерзлой илистой супеси (33 определения) — в диапазоне температур минус 10,1—0,65°. Гранулометрический состав испытанных галечников: гравийно-галечной фракции 88,26%, песчано-пылевато-глинистой 11,74, пылевато-глинистой 2,61%. Влажность грунта 10,79%; объемная масса влажного грунта 2,38 г/см^3; пористость 0,19. Заполнитель: песок—пыль—глина с весовой влажностью 91,9%, объемной массой 1,7 г/см^3, пористостью 0,67 и коэффициентом пористости 1,98.

Гранулометрический состав супеси: песок 44,2%, пыль 46,5, глина 9,3%. В илистой супеси включено органических остатков около 9,2% массы сухого грунта. Грунт представляет собой лед с включениями минеральных и органических частиц. Весовая влажность его 109,1%; объемная масса 1,34 г/см^3; объемная масса скелета грунта 0,64 г/см^3; пористость 0,75; коэффициент пористости 3,06.

Таблица 8

Теплоемкостные характеристики многолетнемерзлых грунтов

Температура грунта, минус	Эффективная теплоемкость илистой супеси, Дж/(кг·К)	Эффективная теплоемкость галечников, Дж/(кг·К)	Количество незамерзшей воды в галечнике по отношению к массе сухого скелета, %	Количество незамерзшей воды в галечнике по отношению к массе скелета заполнителя, %
9	1,05	0,76	0	0
8	1,09	0,76	0	0
7	1,09	0,76	0	0
6	1,13	0,76	0	0,04
5	1,18	0,8	0,02	0,19
4	1,3	0,88	0,06	0,54
3	1,47	1,01	0,14	1,23
2	1,72	1,34	0,34	2,88
1,5	2,73	1,81	—	—
1	5,33	3,19	1,14	9,74
0,7	13,31	6,21	—	—
0,45	—	13,27	—	—

По данным определений (табл. 8) построены графики зависимости эффективной теплоемкости от температуры (рис. 18), из которых видно, что эффективная теплоемкость мерзлых галечников в диапазоне температур минус 9—6° постоянна. Наиболее интенсивное увеличение эффективной теплоемкости относится к интервалу температур

1—0°. Следовательно, весьма интенсивное таяние льда начинается уже при температуре —1°. Эффективная теплоемкость мерзлой илистой супеси изменяется во всем диапазоне исследованных температур (—9,4—0,7°), наиболее интенсивное ее увеличение относится к интервалу температур —2—0°. В интервале температур от —6 до —1,5° в галечниках и илистой супеси в результате таяния льда появляется некоторое количество незамерзающей воды, причем этот процесс более интенсивен в супеси. Следовательно, фазовые переходы в дисперсном грунте протекают в этом интервале температур более интенсивно, чем в галечниках. В связи с этим с повышением температуры мерзлой породы более интенсивно снижаются прочностные свойства дисперсных грунтов. Коэффициент теплопроводности галечников при более низких температурах (до —13°) заметно не изменяется.

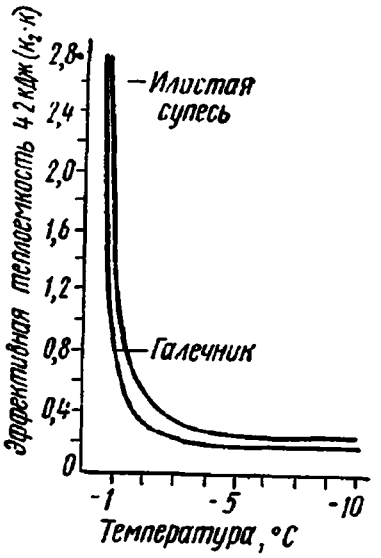


Рис. 18. Зависимости эффективной теплоемкости многолетнемерзлого грунта от температуры

Ледниковые и водно-ледниковые отложения плейстоцена и голоцена представлены галечниково-валунными образованиями, разнозернистыми песками с галькой, валунами, щебнем, супесями, реже суглинками и глинами. Мощность их от 2—3 м до нескольких десятков метров, а в отдельных впадинах (Бугчанская, Куйдусунская, Сунтарская и др.) превышает 100 м. Закономерности в распределении литологических разностей по разрезу и площади не наблюдается. Отложения промерзлы на всю мощность. Мощность слоя сезонного протаивания 0,3—2 м.

В пределах Оймяконской впадины в галечниково-валунных образованиях галька размером 3—5 см и валуны 15—50 см от средней до хорошей окатанности различного петрографического состава. Количество заполнителя не превышает 40%. Разнозернистые полимиктовые пески с высоким содержанием плохо окатанной мелкой гальки и валунов (до 35—40%) развиты в виде прослоев и линз мощностью до 7 м. Супеси, часто залегающие с поверхности, содержат до 60,2% песчаных, 36,4% пылеватых, 2,7% глинистых и до 0,7% гравелистых частиц, иногда 5—10% хорошо окатанной гальки размером 2—5 см. Суглинки и глины, отмеченные с глубины 0,5—1,1 м, мощностью 0,5—6,2 м, характеризуются плотным сложением и большим (до 30—40%) содержанием хорошо и средиеокатанной гальки и валунов. В отложениях встречаются прослои и линзы льда мощностью до 10 см и более.

Нормативное давление (с учетом сохранения мерзлоты при температуре грунта минус 0,2—1,5°) на супеси $2,5 \cdot 10^5$—$3,5 \cdot 10^5$ Па, на суглинки и глины $1,5 \cdot 10^5$—$3 \cdot 10^5$, на пески гравелистые $3,5 \cdot 10^5$—$4,5 \cdot 10^5$ Па и на галечниково-валунные образования до $4 \cdot 10^5$ Па.

Мерзлые ледниковые валунные суглинки обладают высокой весовой льдистостью и часто содержат прослои льда различной мощности. При оттаивании такие грунты обычно приобретают пластичную и текучую консистенцию.

Озерно-аллювиальные отложения плейстоцена представлены песками и супесями, иногда глинами (Дербекинская впадина). Наблю-

дается взаимозамещаемость литологических разностей как в вертикальном разрезе, так и по площади. Мощность линз и пластов изменяется от 0,2 до 10 м и более. Преобладают пески кварц-полевошпатовые, пылеватые и мелкозернистые, реже среднезернистые. Гранулометрический состав характеризуется отсутствием фракции крупнее 0,5 мм, преобладанием в верхней части разреза фракции 0,25—0,1 мм — 60—70%, менее 0,1 мм — 40—45%. С глубиной наблюдается уменьшение пылеватой и глинистой фракции до 15—20% и увеличение фракции 0,25—0,1 мм до 80—95% и фракции 0,5—0,25 мм до 20%. Криогенная текстура в основном массивная, реже ячеистая или слоистая. В естественном состоянии пески повышенно- и среднельдистые, при оттаивании переходят в рыхлое водонасыщенное, а на некоторых участках (район аэропорта в Верхоянске) — в плывунное состояние.

Супеси в мерзлом состоянии имеют массивную или сетчатую криотекстуру. Лед встречается в виде тонких прослоек, прожилок и сетчатых гнездовидных скоплений. Влажность породы 21,1—63%, на заболоченных участках достигает 162,8%. При оттаивании супеси приобретают пластичную или текучую консистенцию. Физико-механические свойства озерно-аллювиальных супесей Верхоянской впадины приведены в табл. 9.

Таблица 9

Физико-механические свойства озерно-аллювиальных супесей
(по материалам института Якутгражданпроект)

Показатели	Глубина, м	
	3	6
Пористость, %	46—78(4)	47; 51(2)
Коэффициент пористости	0,85—3,5(4)	0,82; 0,88 (2)
Суммарная весовая естественная влажность (льдистость), %	21,6—162,8(12)	25,8—50,1(10)
Степень влажности	1,2—1,8(4)	0,9; 1,2(2)
Объемная масса, г/см³:		
мерзлого грунта в естественном состоянии	1,53—2,3(12)	1,36—2,22(10)
скелета мерзлого грунта	0,6—1,55(12)	1,02—1,594(10)
скелета оттаявшего грунта	0,6—1,47(4)	1,42; 1,42 (2)
скелета оттаявшего грунта после уплотнения под нагрузкой	1,49—1,64(4)	1,43; 1,43(2)
Степень распученности	0—0,04(4)	0; 0,03 (2)
Степень просадочности	0,006—0,04(4)	0,03; 0,04(2)
Относительная осадка при оттаивании	0,001—0,01(4)	0,002; 0,005(2)
Относительное сжатие при нагрузке:		
$1 \cdot 10^5$ Па	0,01—0,056(4)	0,02; 0,042(2)
$2 \cdot 10^5$ Па	0,018—0,085(4)	0,03, 0,057 (2)
$3 \cdot 10^5$ Па	0,027—0,131(4)	0,038—0,068
Коэффициент сжимаемости:		
при оттаивании	0,006—0,021(4)	0,01(1)
при нагрузке $3 \cdot 10^5$ Па	0,006—0,021(4)	0,009; 0,01(2)
Сухой остаток, % массы сухого грунта	0,034—0,1(6)	0,024(1)

Примечание. В скобках указано количество определений.

Изменение температуры озерно-аллювиальных отложений показано на графиках (рис. 19).

Физические характеристики пород одного из участков Верхоянской впадины приведены в табл. 10.

Таблица 10

Физические свойства озерно-аллювиальных песков
(по материалам института Якутгражданпроект)

Показатели	Глубина, м								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Объемная масса влажного грунта, г/см³	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73
Суммарная влажность грунта, %	74	39	29	26	35	31	34	31	31
Объемная теплоемкость грунта:									
мерзлого	2390	2888	2516	3282	2721	2587	2681	2587	2587
талого	2093	1929	1783	1733	1862	1812	1850	1812	1812
Объемная теплоемкость мерзлого грунта с учетом незамерзшей воды (1%), Дж/(м³·К)	2101	1951	1808	1738	1883	1831	1871	1831	1831
Коэффициент теплопроводности мерзлого грунта, Вт/(м·К)	0,15	0,46	0,6	0,74	0,81	0,92	0,99	1,05	1,1

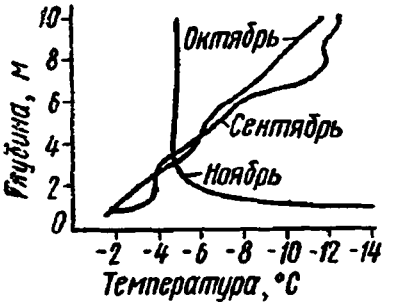


Рис. 19. Кривые изменения температуры озерно-аллювиальных грунтов с глубиной

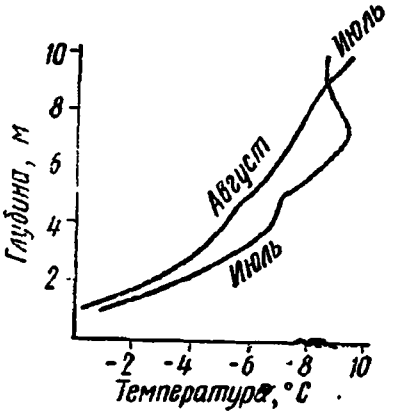


Рис. 20 Кривые изменения температуры супесчано-песчаных грунтов с глубиной

Озерно-аллювиальные отложения находятся в многолетнемерзлом состоянии. Льдистость грунтов различная. Глубина деятельного слоя не превышает 2 м. Нормативное давление на мерзлые песчаные грунты до $3 \cdot 10^5$ Па.

Аллювиальные отложения голоцена в межгорных впадинах представлены супесями, взаимозамещающимися пылеватыми и мелкозернистыми песками, часто содержащими растительные остатки. Мощность слоев 0,2—6 м и более. В долинах горных рек они представлены преимущественно песчано-гравийно-галечным материалом мощностью до 3—6 м. До глубины 10 м грунты находятся в твердомерзлом состоянии с устойчивой отрицательной температурой (рис. 20). Глубина деятельного слоя колеблется от 0,2 до 3 м. В супесях лед встречается в виде тонких прослоек, прожилок и сетчатых гнездовидных скоплений. Текстура льда криогенная массивная или сетчатая, влажность 17,6—68,5%. При оттаивании супеси приобретают пластичную или текучую

консистенцию. Мелкозернистые и пылеватые пески повышенно- и среднельдистые, массивной, реже слоистой или ячеистой криогенной текстуры. При оттаивании они нередко переходят в плывунное состояние. Физические свойства песков приведены в табл. 11.

Таблица 11

Физические свойства песков

Показатели	Глубина, м			
	2	4	6	8
Объемная масса грунта, г/см³:				
мерзлого	1,41—1,82(2)	2,01(37)	1,93—2,14(8)	1,89—1,94(2)
скелета	0,93—1,35(2)	1,61(37)	1,44—1,68(8)	1,51—1,55(2)
Суммарная естественная влажность, % .	34,79—51,59(2)	29,71(37)	19,6—30,8(8)	22,3—26,6(2)

Примечание. См. табл. 9.

Современные **склоновые и элювиальные образования** в горных районах мощностью от 0,5 до 10 м и более. На крутых склонах и водоразделах преобладают обвально-осыпные глыбовые образования. Делювиально-солифлюкционные и элювиально-делювиальные отложения располагаются на выположенных частях склонов, представлены в основном дресвяно-щебнистым материалом с супесчаным и суглинистым заполнителем. Наиболее детально они изучены в Верхне-Берелехской впадине (Тайбашев, 1963). Здесь грунт представлен несортированной щебенкой (2—10 см) и дресвой песчано-глинистых сланцев с супесчаным и суглинистым заполнителем. Гранулометрический состав отложений отличается значительными колебаниями фракций и в среднем составляет: более 10 мм—32%; 10—2 мм — 23%; 2—1 мм — 9%; 1—0,25 мм — 10; 0,1—0,05 мм — 6%; 0,05—0,01 мм — 4%; 0,01—0,005 мм — 13%; менее 0,005 мм — 5%. Ледяные прослои мощностью до 10 мм придают всей толще грунта неравномерно-слоистую криогенную текстуру. Физические свойства этих отложений приведены ниже.

	$x\frac{\delta;\ v}{A}$		Число определений
Объемная масса, г/см³			
грунта	2,01	$\frac{—;\ —}{1,94—2,13}$	8
скелета грунта	1,76	$\frac{—;\ —}{1,71—1,87}$	8
Весовая влажность, %	12,29	$\frac{1,14;\ 9}{10,46—16,79}$	18
Общая влажность, %	13,76	$\frac{1,46;\ 11}{9,46—14,32}$	18

Примечание. См. табл. 7.

Льдистый мелкодисперсный заполнитель оказывает существенное влияние на механические свойства грунта. Установлено, что при температуре грунта минус 10° эквивалентное длительное сцепление колеб-

лется в пределах $20,5 \cdot 10^5$—$30,1 \cdot 10^5$ Па (среднее сцепление $24,8 \cdot 10^5$ Па).

При испытании грунта методом одноосного сжатия в условиях возможного бокового расширения, проведенного при температуре от —0,8 до —10° параллельно ледяным прослоям при малой скорости деформации сжатия (0,01 мм/ч), длительное сопротивление сжатию равно $21,2 \cdot 10^5$ Па. При большой скорости деформации сжатия (60—380 мм/ч) временное сопротивление сжатию изменяется от $48,6 \cdot 10^5$ до $53,6 \cdot 10^5$ Па. Таким образом, сопротивление грунта параллельно ледяным прослоям при понижении скорости загружения снижается более чем в два раза. Перпендикулярно ледяным прослоям при малой скорости деформации сжатия (0,04 мм/ч) длительное сопротивление сжатию составляет $26,8 \cdot 10^5$ Па; при большой скорости деформации сжатия (более 54 мм/ч) временное сопротивление сжатию оказывается в пределах $48 \cdot 10^5$—$53,7 \cdot 10^5$ Па. Следовательно, при сжатии перпендикулярно слоистости с понижением скорости загружения выявлено снижение прочности почти в два раза. Сопротивление грунта сжатию перпендикулярно ледяным прослоям на 20,9% больше, чем параллельно слоистости.

На территории региона с поверхности на всех генетических типах четвертичных отложений широко распространены пылеватые супеси и суглинки проблематичного генезиса мощностью не более 2 м. Грунты находятся в зоне деятельного слоя, имеют повышенную льдистость (до 15%) и при оттаивании переходят в текучее состояние. Относительная осадка их при оттаивании под нагрузкой $2 \cdot 10^5$ Па изменяется от 42 до 77%, в среднем составляет 65%. При температуре —4° нормативное давление на грунты достигает $2 \cdot 10^5$ Па, а при повышении температуры до 1,5° снижается до $0,5 \cdot 10^5$ Па.

Мерзлотно-гидрогеологические условия

Для региона характерно сплошное распространение многолетнемерзлых пород, прерывающееся лишь сквозными таликами на выходах подземных подмерзлотных вод по тектоническим разломам, под руслами крупных рек (Колыма, Индигирка, Яна и др.), на отдельных участках их притоков первого порядка и под крупными непромерзающими до дна озерами (Джека Лондона, Дарпир, Мамонтай и др.).

Водоносные талики, функционирующие в течение всего года, установлены в бассейнах рек Эльги и Уольчан. В долине последней таликовая полоса достигает ширины 700 м, редко сужаясь до 80—100 м (Калабин, 1960). Устойчивые подрусловые и даже пойменные талики имеются также в долинах рек хр. Сунтар-Хаята в непосредственной близости к ледникам. В долине р. Сунтар пойменные талики достигают ширины 2,5 км. Такие же талики встречены и западнее в долине р. Тыры, а несколько меньших размеров — по рекам Дыбы и Мал. Кидерики (Граве и др., 1964; Некрасов и др., 1973).

Мощность многолетнемерзлых горных пород в районах, находящихся на высоте более 1500 м, достигает 500 м и более, температура минус 9—10° и ниже. На склонах и водоразделах на высотах 800—1500 м мощность пород 300—500 м при температуре минус 7—9°. В днищах долин, даже на высотах 1000—1200 м, мощность многолетнемерзлых пород чаще всего 100—300 м, температура минус 4—6°. Самая высокая температура и наименьшая мощность многолетнемерзлых пород зафиксированы на месторождении Эльгенуголь, расположенном

в краевой части Сеймчано-Буюндинской впадины. Здесь мощность мерзлой толщи пород (вскрытой скважинами и шахтами) увеличивается по мере движения к водоразделам, изменяясь от 30—40 до 120 м при температуре пород у подошвы слоя с годовыми колебаниями от —0,9 до —3,2° (Губкин, 1952; Калабин, 1960; Гольдман, Сезоненко, 1961).

Глубина сезонного протаивания горных пород в регионе варьирует в пределах 0,2—4 м. Наименьшее протаивание до 0,2—0,3 м свойственно влагоемким грунтам (торфам, суглинкам, илам), покрытым моховым покровом (долины рек Сеймчан, Эльген, Таскан и др.). Максимальное протаивание до 3—4 м фиксируется на участках с крупнообломочными отложениями — на поверхностях водоразделов и склонов, а также в долинах небольших рек и ручьев.

В пределах региона распространены надмерзлотные воды сезонноталого слоя, воды подрусловых и подозерных талнков, межмерзлотные и подмерзлотные воды. Водовмещающими породами надмерзлотных таликовых вод служат различные по генезису четвертичные отложения преимущественно крупнообломочного состава, обладающие высокими фильтрационными свойствами. Коэффициенты фильтрации аллювиальных, делювиальных и пролювиальных образований составляют десятки и сотни метров в сутки. Лишь для песков, супесей и суглинков солифлюкционного генезиса характерны коэффициенты фильтрации менее 1, редко до 25 м/сут. Дебиты родников, связанных с водами сезонноталого слоя, измеряются десятыми и сотыми долями литра в секунду.

Воды сезонноталого слоя гидрокарбонатного кальциевого и хлоридно-гидрокарбонатного кальциевого и натриевого состава с минерализацией до 0,04 г/л, pH 5,5—6, общая жесткость 0,09—0,3 мг·экв/л с содержанием агрессивной углекислоты до 22 мг/л, обладают общекислотной, углекислотной и выщелачивающей агрессивностью по отношению к бетону.

Воды подрусловых таликов образуют грунтовые потоки обычно шириной 15—20 м, иногда более. Уровни подрусловых вод до второй половины октября находятся обычно в свободном состоянии, в зимнее время приобретают напор и образуют наледи с объемом льда 2000—5000 м³ и больше. Воды преимущественно гидрокарбонатные со смешанным составом катионов, с минерализацией от 0,03 до 0,12 г/л, очень мягкие, обычно pH 5,5—5,9, в зимнее время достигает 6,6—7, содержание агрессивной углекислоты до 88 мг/л. Они обладают выщелачивающей, общекислотной и углекислотной агрессивностью.

Химический состав вод таликовых зон под озерами хлоридно-гидрокарбонатный натриевый с минерализацией от 27 мг/л в летнее время до 69 мг/л зимой, pH 5,7—6,1.

Межмерзлотные воды распространены ограниченно. Они встречены в пределах месторождений Депутатского и Улахан-Эгелях на глубине 44 м. Минерализация вод 92—250 г/л.

Подмерзлотные воды в пределах горных массивов представлены трещинными и трещинно-жильными водами терригенных и интрузивных пород раннекарбонового-позднемелового возраста и заключены преимущественно в зонах подмерзлотной тектонической трещиноватости. Мощность обводненной зоны не превышает первых десятков метров. Глубина вскрытия вод 200—400 м. Величина напора 160—380 м. Дебиты скважин в большинстве случаев не превышают 1 л/с. Дебиты источников изменяются от 3 до нескольких десятков литров в секунду, в отдельных случаях они достигают 400 л/с. С вы-

ходами подмерзлотных вод часто связаны крупные наледи. Минерализация воды в источниках обычно не превышает 100 мг/л. Состав вод гидрокарбонатный кальциевый, иногда сульфатный натриевый, pH 5,9—7,4. Воды, вскрытые скважинами с минерализацией до 1 г/л, сульфатного кальциевого состава, pH 7,1.

Подмерзлотные воды артезианских бассейнов (Эльгенского, Аркагалинского, Омсукчанского и др.) заключены в молассовых отложениях позднеюрского, мелового и третичного возраста. Воды пластово-трещинные, напорные. Величина напора от 34 до 295 м. Коэффициенты фильтрации пород колеблются от 0,03 м/сут у аргиллитов до 9,2 м/сут у конгломератов. Удельные дебиты скважин от 0,001 до 2,64 л/с. Воды преимущественно гидрокарбонатные, реже гидрокарбонатно-сульфатные, натриевые и кальциевые, с минерализацией от 0,1 до 7,9 л/с. Содержание агрессивной углекислоты составляет 1.1,6—24,8 мг/л. Воды обладают углекислотной агрессивностью по отношению к бетону.

Современные геологические процессы и явления

Большинство современных геологических процессов связано с развитием в регионе многолетней мерзлоты. Наиболее распространенными из них являются: морозобойное растрескивание и физическое выветривание. Морозное растрескивание и связанные с ним полигональные образования наиболее ярко выражены на поверхности аллювиальных террас в долинах крупных рек. На отдельных участках долин и склонов развиты повторно-жильные льды высотой до 5—10 м и шириной в верхней части до 0,5—1, редко до 2 м. Полигональные системы с повторно-жильными льдами находятся на разных стадиях развития (рост, консервация, разрушение за счет термокарста). Результатом физического выветривания пород в горах является образование глыбовых и щебневых развалов, крупнообломочных осыпей и каменных потоков. На более пологих склонах (20—30°) возникает морозная сортировка обломочного материала.

На речных террасах, на участках развития ледниковых и озерно-аллювиальных отложений встречаются термокарстовые просадочные формы рельефа и озера, формирующиеся преимущественно по повторно-жильным и сегрегационным льдам, реже — по погребенным льдам ледников и снежников.

Солифлюкционные процессы распространены ограниченно. Чаще они сочетаются с другими склоновыми процессами: коллювиальным, делювиальным, оползневым.

Здесь широко развиты наледи, преимущественно питающиеся подземными водами подмерзлотной циркуляции. Встречаются наледи грунтовых и подрусловых вод. Многие наледи достигают гигантских размеров, до десятков километров в длину и нескольких километров в ширину. Общая площадь наледного льда в регионе измеряется тысячами квадратных километров (Швецов, 1941; Толстихин, 1963, 1969 и др.). Большая часть наледей сосредоточена в пределах высоких хребтов (Верхоянского, Черского, Сунтар-Хаята и др.) и их предгорий. Нагорья же, такие, как Яно-Оймяконское, практически лишены крупных наледей, за исключением окраинных районов, примыкающих к горным сооружениям. Тарыны — крупные наледи мощностью до 8 м и площадью 10—15 км² и более являются многолетними образованиями, за летний период, как правило, оттаивают не полностью. На непромер-

зающих реках Таскан, Бохапча и других наледи развиваются в течение всей зимы. На промерзающих они развиваются особенно интенсивно до середины ноября, но часто и до конца зимы. Они подпитываются водами из подруслового или пойменного талика или из конусов выноса. Для защиты от наледей дорог, аэродромов и других инженерных сооружений создаются барьеры из постоянномерзлого грунта.

ЯНО-КОЛЫМСКИЙ РЕГИОН

Регион охватывает обширные пространства Индигирской и Яно-Колымской низменностей, представляющих собой сильно заболоченные с большим количеством озер плоские, по окраинам — слабоволнистые поверхности, абсолютные отметки которых не превышают 100—120 м и постепенно уменьшаются по направлению к морю. Северная часть низменностей почти сплошь занята обширными, сливающимися друг с другом аласами и термокарстовыми озерами. На юге озерные котловины занимают около 50% площади, по окраинам низменностей их не более 10—20% площади. Местами над плоской поверхностью низменностей возвышаются останцовые горные массивы с абсолютными высотами 200—950 м со сглаженными вершинами и пологими склонами (Алазейское, Кондаковское плоскогорья). Наиболее крупные реки региона — Индигирка, Яна, Алазея, Омолой, Колыма. Широко развиты небольшие реки, ручьи и озера (Моготово — 320 км², Ожогино — 157 км² и др.). Большинство озер термокарстового происхождения, но встречаются старичные, пойменные и лагунные. Глубина их до 5—7 м.

Климат региона морской, арктический, с очень холодной малоснежной зимой и коротким прохладным летом. Средняя температура воздуха зимой (январь) достигает минус 32—40°, летом (июль) 6—12°. Годовое количество осадков 125—200 мм. Снежный покров мощностью в среднем 100—150 мм держится 230—240 дней в году. На всей территории региона распространена многолетняя мерзлота.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Яно-Индигирская и Колымская низменности в структурном отношении представляют собой эпимезозойскую плиту, бо́льшая часть которой располагается в пределах Лаптево-Чукотского шельфа. Фундамент плиты образован складчатыми структурами мезозоид и выходит на поверхность в останцовых возвышенностях (Шелонский и Хромский погребенные массивы), на Алазейском горстово-глыбовом поднятии и в горном обрамлении низменностей.

Платформенный чехол, формирование которого началось в датском веке позднего мела, представлен породами андезито-липаритовой формации мощностью 200—900 м и породами угленосной молассы мощностью 150—180 м, имеющими небольшие выходы на поверхность. Плиоцен-четвертичные отложения перекрывают мощным чехлом более древние образования (рис. 21). Наибольшим развитием пользуются озерно-аллювиальные и аллювиальные средне- и верхнеплейстоценовые отложения, а среди голоценовых отложений — аллювиальные, дельтовые и озерно-болотные (рис. 22).

Андезито-липаритовая формация позднемелового (датского)-палеогенового возраста выходит на по-

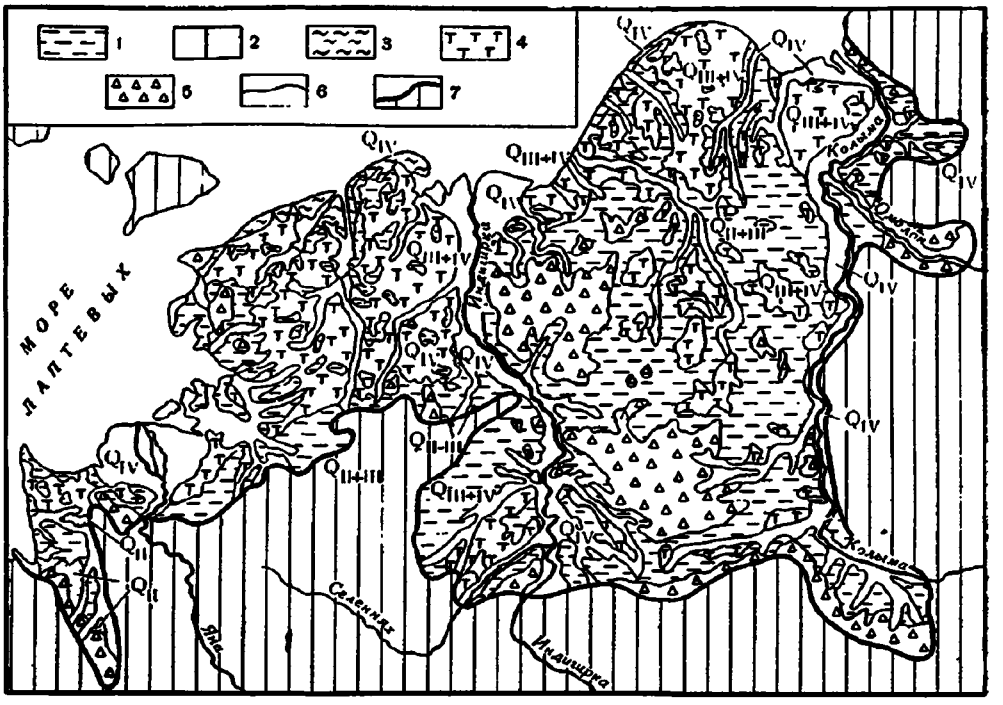


Рис. 21. Схематическая карта четвертичного покрова Яно-Колымского региона (по Н. Г. Загорской).

Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений: 1 — озерно-аллювиальные; 2 — аллювиальные (Q_{IV}; Q_{II-III}); 3 — морские; 4 — болотные; 5 — элювиально-делювиальные и коллювиальные; 6 — геологические границы; 7 — граница региона и сопредельные территории

верхность в северных предгорьях хр. Полоусного, на п-ове Святой Нос, левобережье р. Колымы и др. Она представлена базальтами, андезитобазальтами, андезитами, трахиандезитами, липаритами, их туфами и туфолавами. Покровы эффузивов обычно залегают в основании чехла на породах складчатого фундамента. Мощность покровов лав различного состава от первых десятков до первых сотен метров. Общая мощность формации 200—900 м. Эффузивы часто пузырчатые, кавернозные, сильнотрещиноватые, встречаются и массивные разности. Некоторые показатели физико-механических свойств палеогеновых базальтов района пос. Чокурдах приведены ниже.

	Базальт	
	массивный	кавернозный
Плотность, г/см³	2,76—2,84	1,96—2,43
Объемная масса, г/см³	2,58—2,7	2,5—2,79
Пористость, %	4,35—7,6	12,9—24,61
Водонасыщенность, %	0,37—1,96	1,1—11,24
Временное сопротивление сжатию, 10^5 Па	438—536	341—438
Морозостойкость	25 циклов	не морозостойкие

Угленосная молассa позднемелового-плиоценового возраста мощностью 150—180 м обнажена ограниченно в обрамлении низменностей и на участках поднятия мезозойского фундамента. В нижней части разреза мощностью 140 м она сложена глина-

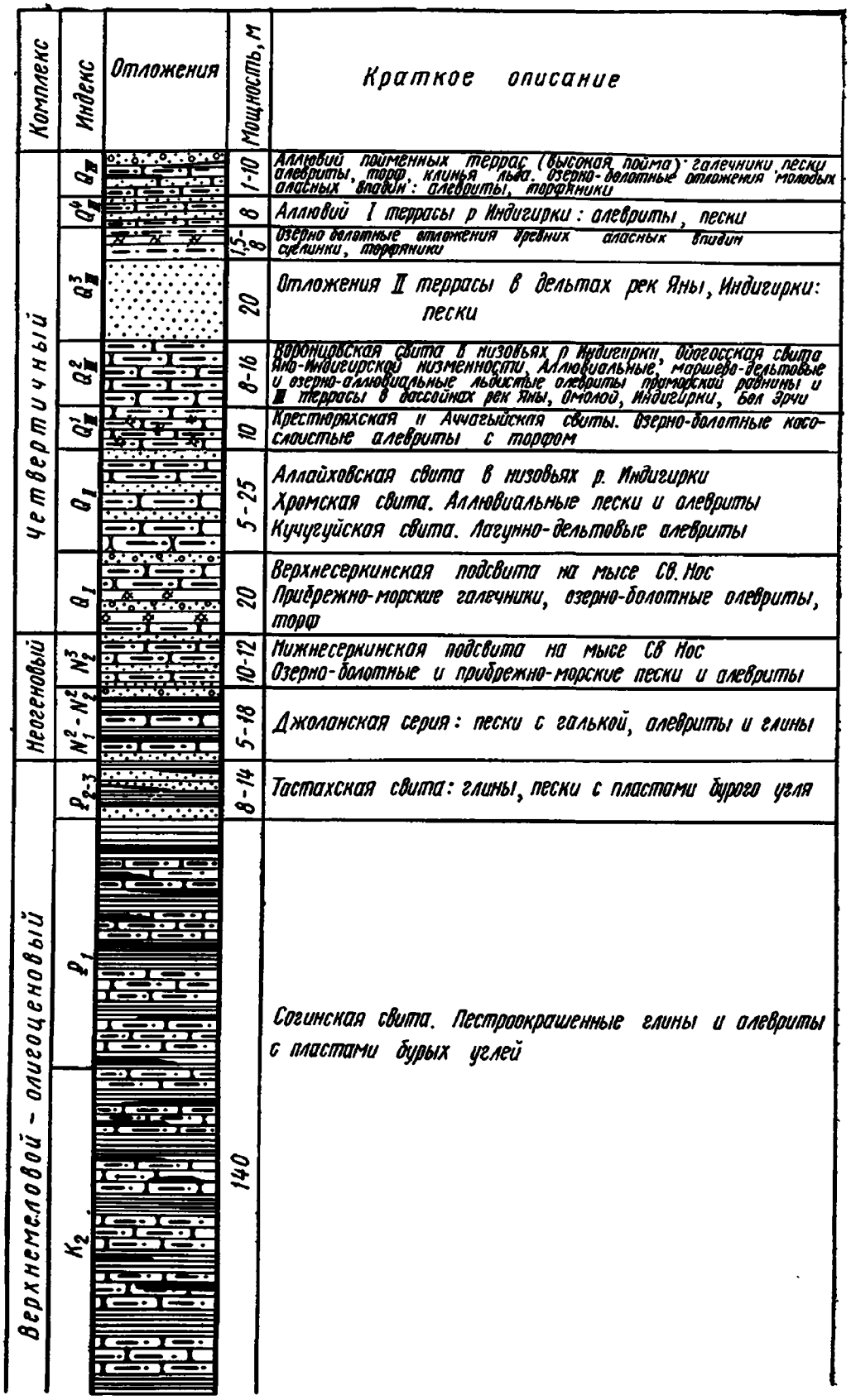


Рис 22. Сводный геологический разрез платформенного (кайнозойского) чехла Яно-Колымского региона

ми и алевролитами с пластами бурых углей (1- 9 м), в верхней—мощностью до 32 м — песками, алевритами и глинами. Отложения находятся в твердомерзлом состоянии. Им свойственна крайне низкая льдистость и массивная криогенная текстура. В инженерно-геологическом отношении не изучены.

Прибрежно-морские и озерно-болотные отложения плиоцена-раннего плейстоцена представлены в нижней части разреза песками и алевритами с линзами и линзообразными прослоями разнозернистых песков, галечников, реже торфа, общей мощностью 10—12 м; в верхней части разреза — галечниками, мелкими валунами, разнозернистыми песками с гравием и галькой, общей мощностью около 20 м. Отложения находятся в твердомерзлом состоянии, им свойственна низкая льдистость и массивная криогенная текстура. В инженерно-геологическом отношении отложения не изучены.

Озерно-аллювиальные и аллювиальные отложения среднего и позднего плейстоцена слагают сильно расчлененную термокарстом «едому» и маршево-дельтовую равнину. Первые представлены преимущественно горизонтально-слоистыми алевритами с прослойками и линзами песков и торфа. Криогенная текстура массивная. Толща алевритов пронизана синтенетическими жилами льда высотой до 28 м при ширине в верхней части 8—10 м.

Аллювиальные отложения в пределах озерно-аллювиальных равнин имеют состав, близкий озерно-аллювиальным отложениям. В нижнем течении и дельтах рек Омолоя, Яны, Индигирки и других аллювиальные отложения мощностью 20 м, слагающие II надпойменную террасу, представлены горизонтально- и линзовидно-слоистыми мелкозернистыми песками с маломощными линзами слаборазложившегося торфа; в верхней части разреза — ритмично чередующимися песками, алевритами и глинистыми алевритами. Отложения, слагающие I надпойменную террасу, представлены неслоистыми алевритами с включением редкой гальки, растительного детрита и прослоев торфа и тонкозернистыми песками. Мощность отложений 8 м.

Озерно-аллювиальным и аллювиальным отложениям свойствен весьма однородный, но специфический литологический облик, обусловленный пылеватостью состава. Гранулометрический состав средне- и верхнеплейстоценовых алевритов (пылеватых супесей и суглинков) Яно-Индигирского междуречья (Труш, Нистратова, 1973) приведен в табл. 12. Рассматриваемые отложения характеризуются высоким содержанием органики (6—12%), обусловливающим аномально-низкие значения плотности пород. Наиболее дисперсная часть органики значительно повышает физико-химическую активность породы, выражающуюся в относительно высоких значениях максимальной молекулярной влагоемкости и числа пластичности при незначительном содержании глинистой фракции. Значительное количество незамерзаемой воды, присутствующей в мерзлых грунтах с низкими отрицательными температурами, активно перемещающейся под влиянием градиентов температур, обусловливает, по-видимому, высокую льдистость отложений, рост объема жильных и пластовых льдов, процессы пучения.

Ниже слоя сезонного оттаивания алевриты находятся в твердомерзлом состоянии. Полигональные повторно-жильные льды шириной 6—8 м, высотой до 50 м разбивают мерзлую толщу на систему грунтовых массивов со слоистой и толстошлировой («поясковая») криогенной текстурой. При протаивании отложений возникает катастрофическая осадка поверхности (алевриты переходят в текучее состояние).

Таблица 12

Гранулометрический состав озерно-аллювиальных и аллювиальных отложений

Место отбора пробы	Глубина отбора, м	Содержание фракций, %		
		2—0,05	0,05—0,002	менее 0,002
Левобережье руч. Крайнего (около пос. Крайний)	0,8	11,1	80,7	8,2
	1,4—1,9	11	82,5	6,5
	1,9—2,4	15	80,5	4,5
Левобережье р. Тенкели (в нижнем течении)	0,6—1	12,8	70,8	6,4
	8,6—9,6	10,3	88,6	1,1
	11,4—12,7	34,6	63,8	1,6
	17—17,8	3,9	94,3	1,8
	17,8—18	8,8	80,8	10,4
	19—19,2	6,3	80,8	2,9
Правобережье р. Хромы (ниже устья р. Н. Буор-Юрях)	0,5	15,6	79	5,4
	1,1—1,2	13,3	82,1	4,6
	2,5	9,6	86,4	4
	4,5	19,3	76,5	4,2
	6	19,3	79,8	0,9
	7,5	14,2	81,6	5,2
	16,5	6,2	88,2	5,6
Правобережье р. Тенкели (около пос. Тенкели)	4,8—5,5	22,4	76	1,6
	0,9—1	8,5	89,5	2
	4,5—5,2	6,6	91,8	1,6
	7,2—7,6	9,1	84,2	5,9
	7,7—8	9,2	86,4	4,4

Некоторые показатели физико-механических свойств озерно-аллювиальных и аллювиальных отложений приведены ниже.

	Алевриты (пылеватые супеси и суглинки) Q_{II-III}	Суглинки Q^3_{III}
Плотность, г/см³	2,43—2,65	2,67—2,7
Объемная масса, г/см³	1,1—2,2	1,37—1,65
Объемная масса скелета, г/см³	0,5—1,8	0,86—0,92*
Коэффициент пористости	0,8—1,9	1,43—2,8
Влажность суммарная, %	32—136	48—92,7
Объемная льдистость (льдистость включений) грунтовых массивов	0,45—0,65	0,41—0,84
Объемная льдистость с учетом жильных льдов	0,7—0,95	
Пределы пластичности:		
текучести	28,9—46,2	25
раскатывания	16,9—31,2	16
Число пластичности	6,6—16,8	9
Относительное сжатие при оттаивании под действием собственного веса	не опр.	0,24—0,4
Количество определений	массовые	7 определений
Место отбора проб	Яно-Индигирское междуречье	район пос. Чокурдах

* Данные получены приблизительными расчетами.

Аллювиальные отложения голоцена слагают обширные поймы, косы и речные отмели. Поймы сложены преимущественно горизонтально-слоистыми супесчано-суглинистыми осадками, пронизанными клинья-

ми льда. Для крупных рек Урасалах, Черга, Теннела и др. характерно преобладание среди аллювия русловых фаций, представленных косослоистыми грубыми песками и галечниками мощностью 5—6 м, перекрытых пойменными суглинками и торфом мощностью 1—1,5 м. Русловые фации аллювия содержат фракций крупнее 2 мм 51—65%, 2 — 0,05 мм — 39—48, 0,05—0,002 мм — 3—7 и менее 0,002 мм — 0,1—0,3%. Пойменные фации содержат фракций крупнее 2 мм 22—51%, 2—0,05 мм — 45—69, 0,05—0,002 мм — 7—12 и менее 0,002 мм — 1 — 8%. Аллювий малых рек находится в твердомерзлом состоянии, льдистость 5—12%. Голоценовые аллювиальные отложения Индигирки, Колымы и Яны находятся в талом состоянии. Физико-механические показатели аллювиальных голоценовых отложений приводятся в табл. 13.

Таблица 13

Физико-механические свойства аллювиальных голоценовых отложений

Показатели	Супеси (171 анализ)	Пески (25 анализов)	Галечники (47 анализов)
Объемная масса грунта, г/см³:			
влажного	1,59—1,97	1,85—2,28	1,85—2,36
скелета грунта	0,88—1,6	1,49—2,02	1,65—2,06
Плотность, г/см³	2,66—2,71	2,62—2,67	2,6—2,74
Коэффициент пористости	0,69—1,52	0,33—6,97	0,31—0,78
Влажность суммарная, %	24—83	0,71—28,74	7—42
Объемная льдистость (льдистость включений)	0,21—0,62	0,2—0,47	0,14—0,29
Пределы пластичности:			
текучести	24—34	—	—
раскатывания	19—28	—	—
Число пластичности	4—7	—	—
Коэффициент льдонасыщения	1	0,94—1	1
Засоленность, %	0,70—0,106	—	—

Современные дельтовые отложения, развитые в прирусловой части крупных рек, представлены суглинками, супесями и торфом с клиньями льда общей мощностью около 10 м.

Современные морские отложения, широко развитые вблизи устья р. Индигирки и к востоку от нее и слагающие две террасы высотой до 10 м, представлены суглинками, реже песками.

Озерно-болотные отложения мощностью 1—6 м располагаются в котловинах осушенных термокарстовых озер, на поверхностях террас и высокой поймы. Они представлены суглинками, иногда перемещающимися с торфом.

Дельтовые, морские и озерно-болотные отложения находятся в твердомерзлом состоянии, характеризуются высокой льдистостью и развитием повторно-жильных льдов.

Мерзлотно-гидрогеологические условия

Регион характеризуется сплошным распространением многолетнемерзлых пород, прерывающихся лишь под руслами наиболее крупных рек (Индигирки, Яны, Колымы). Максимальная мощность мерзлой зоны достигает 400—600 м в районе пос. Чокурдах. У южной границы региона она составляет 200—300 м, а у морского побережья — 200—

250 м (Жигарев, Плахт, 1973). Мощность слоя с годовыми колебаниями температур 2—25 м (Григорьев, 1966). Температуры пород в этом слое колеблются от 0 до минус 19,5° (пос. Чокурдах), у подошвы слоя — от минус 5° (на юге) до минус 11,8° (на севере). Глубина сезонного протаивания колеблется от 0,2 до 2,6 м: для песков и крупнообломочных грунтов — 0,5—2,5 м, для суглинков и супесей — до 1,2 м, для торфа — 0,2 м.

Надмерзлотные воды приурочены к сезонноталому слою и надмерзлотным таликам. Мощность водоносного горизонта сезонноталого слоя 1—1,5 м. Ширина подрусловых таликов соответствует обычно ширине современной поймы, под малыми водотоками — ширине русла. Мощность таликов под реками средних размеров составляет 3—7 м, под руслами крупных рек — 25—30 м. У подозерных и подаласных таликов мощность от 3—5 м до нескольких десятков метров. Дебиты скважин на таликах составляют 0,2—0,6 л/с. Надмерзлотные воды в целом слабоминерализованные, с пестрым химическим составом. Под солеными озерами (на побережье) минерализация вод достигает 10 г/л; pH 5—8; общая жесткость составляет 0,3—4 мг·экв/л. Воды обладают выщелачивающей и общекислотной агрессивностью к бетону и повышенной коррозионной активностью к черным и цветным металлам.

Межмерзлотные воды, приуроченные к замкнутым линзовидным таликам речных долин, характеризуются отрицательными температурами и минерализацией свыше 200 г/л. В ряде случаев в них содержится до нескольких десятков грамм на литр сульфатов и магнезиальных солей при pH<3. Такие воды агрессивны к бетону и обладают высокой коррозионной активностью к черным и цветным металлам.

Подмерзлотные воды Колымского и Индигиро-Колымского артезианских бассейнов и пород складчатого фундамента напорные. Водопритоки в выработки 10—40 м³/ч. Воды пресные, а вблизи побережья соленые с минерализацией свыше 10 г/л. В отдельных случаях они могут обладать выщелачивающей и углекислотной агрессивностью к бетону.

Современные геологические процессы и явления

В регионе наиболее развиты современные геологические процессы, связанные с криогенезом. Полигональное растрескивание грунтов и формирование жильных льдов развиты на террасах, поймах, прибрежной морской равнине, в днищах аласов. Размер полигонов от 10—15 м до нескольких сотен метров. Мелкие бугры пучения высотой 0,2—1,5 м и шириной 0,5—5 м. На склонах древних аллювиальных равнин протекают процессы солифлюкции, приводящие к образованию оползневых валов и террас высотой 3—4 м. Процессы термокарста приводят к образованию котловин, байджарахов, термотеррас, клумб, аласов.

Ряд современных процессов определяется характером неотектонических движений территории. Так, участки современных поднятий в дельтах Яны, Индигирки, Колымы характеризуются наращиванием берегов и увеличением площадей развития мелководий. Опускающиеся участки подвергаются термоабразии, при этом линия берега интенсивно отступает под активным тепловым и механическим воздействием водных масс. Скорость размыва и отступания берегов различна. В районе

северной окраины дельты Яны отступание размываемых берегов дельты достигло 16—20 м в год (Григорьев, 1966).

Сейсмичность территории оценивается в 6—7 баллов. Эпицентры землетрясений с магнитудами выше 6 зафиксированы в долине Яны.

ПРИКОЛЫМСКИЙ РЕГИОН

Регион расположен в бассейнах рек Колымы и Индигирки и включает в себя окраинные структуры (поднятия) Алазейской складчато-глыбовой системы. В плане территория региона образует почти замкнутое кольцо, с внешней стороны ограниченное Верхояно-Колымской складчатой системой и Омолонским массивом, а с внутренней — Момо-Селенняхской впадиной и Колымской низменностью.

Рельеф региона горный. На юго-востоке расположено слабо расчлененное Юкагирское плоскогорье, в пределах которого сохранились древние поверхности выравнивания. Большая же часть территории входит в горную систему Черского и представлена сильно расчлененными высокогорными и среднегорными хребтами альпинотипного облика, вытянутыми по простиранию палеозойских складчатых структур. На севере региона в субширотном направлении прослеживаются низкогорные хребты Полоусный и Улахан-Тас, разделяющие Яно-Индигирскую и Колымскую низменности. Грабеновидные понижения в горной системе Черского представляют собой узкие межгорные впадины, наиболее крупная из которых Догдинская.

Регион пересекают крупнейшие реки Северо-Востока СССР — Колыма и Индигирка с хорошо разработанными террасированными долинами. Лишь при пересечении хр. Чималгинского р. Индигирка протекает по ущелью шириной до 250 м, полностью занятому руслом. Остальные реки региона — притоки Колымы и Индигирки — типично горные с V-образным и корытообразным профилем долин. Только правые притоки р. Колымы в Приколымском поднятии имеют широкие, часто заболоченные долины. Режим рек региона паводочный, весеннее половодье мало отличается от июльских дождевых паводков. Подъем воды в Колыме достигает 12 м. Зимой у крупных рек сохраняется подледный сток.

Климат региона суровый, резко континентальный. Континентальность в северной части региона несколько смягчается влиянием Восточно-Сибирского моря и возрастает с севера на юг, т. е. в глубь материка. Средняя годовая температура воздуха минус 12,1—17,4°, со среднемесячной температурой января минус 34—40°, июля — от 4—7° (в высоких горах) до 13—15° (во впадинах и низкогорье). Количество осадков 200—700 мм в год. Следствием сурового климата является повсеместное распространение в регионе многолетнемерзлых пород.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

В геологическом отношении регион представляет собой группу поднятий (Приколымское, Омулевское, Тас-Хаяхтахское и Полоусненское), расположенных по периферии Алазейской складчато-глыбовой системы (рис. 23). Поднятия сложены геосинклинальными преимущественно карбонатными осадками верхнего протерозоя и палеозоя. Фундаментом их служат метаморфические породы ранне-среднепроте-

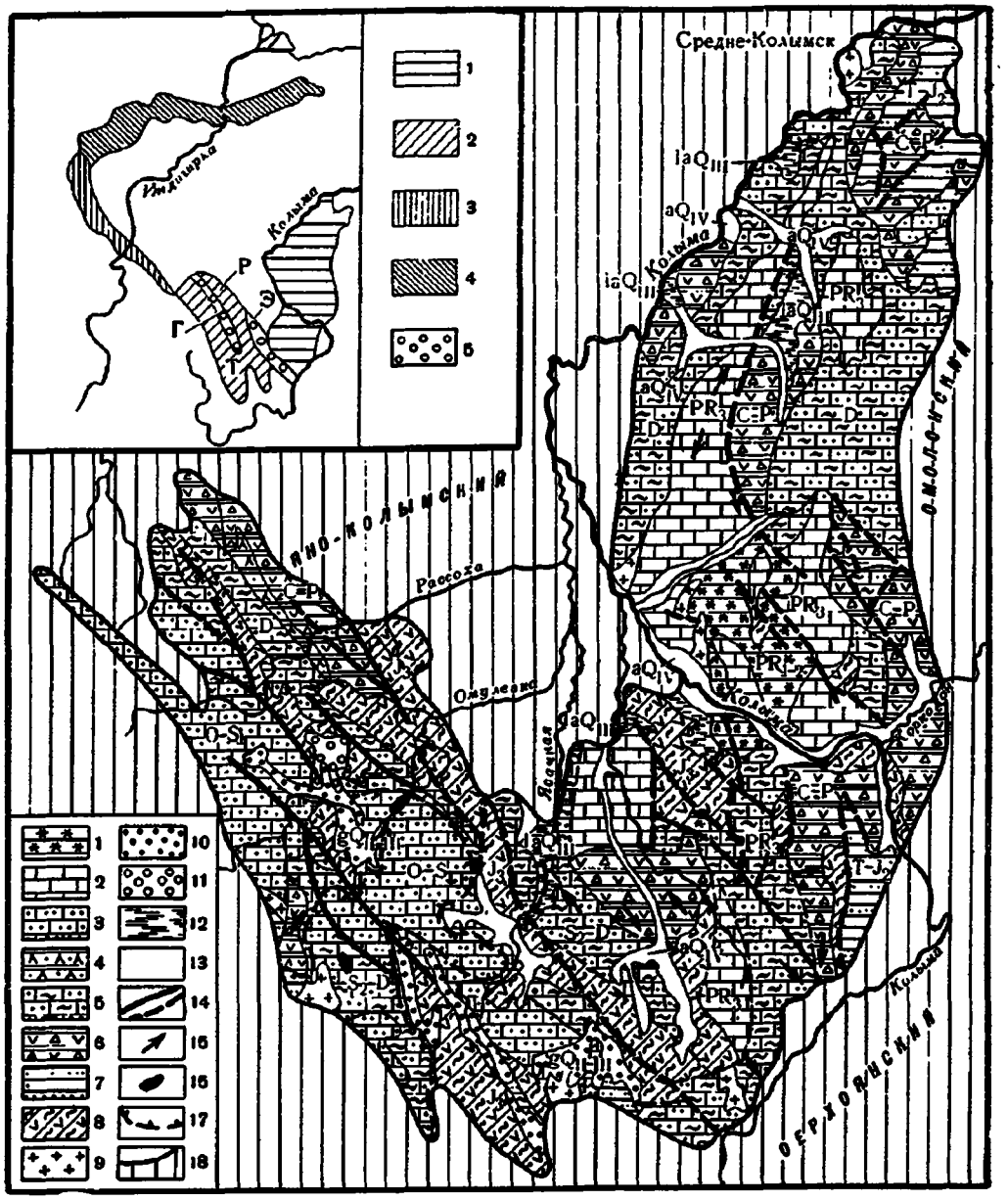


Рис. 23. Схематическая инженерно-геологическая карта Омулевского и Приколымского поднятий.

Формации: 1 — метаморфическая (PR_{1-2}); 2 — терригенно-карбонатная позднего протерозоя (PR_3); 3 — терригенно-карбонатная ордовика и раннего силура ($O—S_1$); 4 — терригенно-вулканогенная ($O—S_1$); 5 — пестроцветная терригенно-карбонатная гипсоносная ($S_2—D$); 6 — кремнисто-карбонатная ($C—P$); 7 — песчано-глинистая сероцветная ($T—J_2$); 8 — терригенно-вулканогенная молассовая (J_3); 9 — гранитоидная. Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений: 10 — средне-верхнеплейстоценовые ледниковые (gQ_{II-III}); 11 — средне-верхнеплейстоценовые водно-ледниковые (fQ_{II-III}); 12 — верхнеплейстоценовые озерно-аллювиальные (laQ_{II-III}); 13 — голоценовые аллювиальные (aQ_{IV}); 14 — разрывные тектонические нарушения; 15 — участки развития солифлюкции; 16 — наледи; 17 — участок проявления карста; 18 — граница региона и сопредельные территории.

На врезке. Схема структурных элементов региона.

Поднятия: 1 — Приколымское; 2 — Омулевское: Рассошинская (Р) и Таскапская (Т) зоны; 3 — Тас-Хаяхтахское; 4 — Полоусненское; 5 — Элекчанский (Э), Гармычанский (Г) грабены

розойского возраста, обнажающиеся в тектонических блоках. Многокилометровая толща карбонатных пород представлена четырьмя основными формациями: терригенно-карбонатной позднего протерозоя, терригенно-карбонатной ордовика — раннего силура; пестроцветной терригенно-карбонатной позднесилурийского-девонского возраста и кремнисто-карбонатной каменноугольного-пермского возраста. В последней, кремнисто-карбонатной формации, главенствующую роль уже играют терригенные породы.

Мезозойские отложения в регионе развиты незначительно в краевых частях поднятий и тектонически опущенных блоках. Представлены они почти исключительно терригенными породами: песчано-глинистой сероцветной формацией и различными по составу молассами. Четвертичный покров в регионе представлен геолого-генетическими комплексами, обычными для горных районов Северо-Востока СССР.

Тектоническое строение поднятий крайне сложное. Простирание складчатых структур меняется от субмеридионального в Приколымском поднятии к северо-западному в Омулевском и Тас-Хаяхтахском до северо-восточного в Полоусненском поднятии. Для региона характерно огромное количество разрывных тектонических нарушений как глубинных древнего заложения, так и молодых приповерхностных. Здесь расположены части крупнейших глубинных разломов Северо-Востока СССР: Дарпир, Улахан, Арга-Тас и др. Они принадлежат к Индигиро-Колымской системе внутригеосинклинальных разломов (Мокшанцев и др., 1968), продольно расположены по отношению к структурам мезозоид, имеют северо-западное простирание. История их развития прослеживается с начала палеозоя. На последних этапах развития региона с глубинными разломами связано заложение наложенных впадин — грабенов. Разломы сопровождаются зонами интенсивного дробления пород и милонитизации шириной до 2—3 км, а также участками малоамплитудной складчатости. От основных разломов отходит серия оперяющих разрывов типа взбросов, сдвигов и надвигов различной амплитуды и протяженности. С глубинными разломами связаны зоны высокой сейсмической активности (до 7 баллов).

Метаморфические породы раннее-среднепротерозойского возраста распространены в Уяндинском блоке Полоусненского поднятия и в Столбовском блоке Приколымского поднятия. В Приколымском поднятии они представлены различными гнейсами и амфиболовыми сланцами с подчиненными им порфироидами. В Полоусненском поднятии преобладают амфиболиты, амфиболовые и другие кристаллические сланцы, содержащие прослои и линзы слюдистых мраморизованных известняков и мраморов. Мощность метаморфических пород 2600—3000 м. Они дислоцированы в сложные крутые часто опрокинутые складки преимущественно субмеридионального простирания.

По прочностным свойствам метаморфические породы относятся к крепким и очень крепким, коэффициент крепости 13—15. В зоне выветривания они интенсивно трещиноваты. Так, на строительной площадке в пос. Глухариный (данные Дальстройпроекта) верхние горизонты пород до глубины 1—2 м выветрелы до щебня и дресвы, ниже, до 4—7 м, они разбиты на блоки размером от 20×20×20 до 80×80×80 см. Трещины шириной 0,5—2 см, разделяющие блоки, заполнены льдистым суглинком или льдом. С учетом неравномерных осадок при вытаивании заполнителя трещин нормативное давление на интенсивнотрещиноватые метаморфические породы принимается $3 \cdot 10^5$—$5 \cdot 10^5$ Па.

Породы терригенно-карбонатной формации позднепротерозойского возраста широко распространены в При-

колымском поднятии и слагают большую часть Уяндинского блока Полоусненского поднятия. В Приколымском поднятии нижние горизонты формации представлены кварцитами, кварцито-песчаниками и метаморфическими сланцами. Средняя часть разреза существенно доломитовая, самые верхи сложены переслаивающимися серицито-хлоритовыми и глинистыми сланцами, алевролитами, доломитами, пестроокрашенными песчаниками при участии гравелитов и конгломератов. Таким образом, устанавливается значительное уменьшение степени метаморфизма пород снизу вверх по разрезу.

В Полоусненском поднятии верхнепротерозойские отложения представлены слюдистыми известняками, доломитами, слюдистыми сланцами, реже — кварцитами и кварцитовидными песчаниками.

Мощность верхнепротерозойских пород в Приколымском поднятии 4000—5000 м, в Полоусненском — 2400 м. Породы формации чаще всего дислоцированы в складки субмеридионального простирания с углами падения на крыльях 30—50°. В сводовых частях мульдообразных складок они уменьшаются до 10°. В зонах разломов наблюдаются сжатые линейные изоклинальные складки, нередко запрокинутые на запад, с углами падения крыльев 60—80°. Терригенно-карбонатные породы крепкие и очень крепкие. Наибольшей крепостью обладают кварциты и кварцито-песчаники, относительно меньшей крепостью характеризуются доломиты, известняки и терригенные породы верхней половины разреза формации.

Терригенно-карбонатная формация ордовик-раннесилурийского возраста слагает большие части Омулевского, Тас-Хаяхтахского и Полоусненского поднятий. В ее строении принимают участие известняки (органогенные, органогенно-обломочные, оолитовые, пелитоморфные и др.), доломиты, мергели, углисто-глинистые и граптолитовые сланцы, известково-глинистые сланцы, известковистые алевролиты. В незначительном количестве в разрезе присутствуют известковистые песчаники, гравелиты, осадочные брекчии и конгломераты. Литологические разности незакономерно чередуются в разрезе, образуя пачки, в которых преобладают те или иные разновидности при общем преобладании в формации карбонатных пород. Мощность таких пачек измеряется несколькими сотнями метров; мощность известняковых горизонтов достигает 500 м и более. Известняки часто массивные или плитчатые. Общая мощность формации 4000—6500 м. Породы дислоцированы в крупные пологие брахиморфные складки северо-западного простирания с углами наклона крыльев 10—35°. Вблизи разломов наблюдается крутое залегание.

Временное сопротивление сжатию карбонатных пород $800 \cdot 10^5$—$1600 \cdot 10^5$ Па. В зонах циркуляции подмерзлотных вод в известняках и доломитах могут быть карстовые пустоты.

Терригенно-вулканогенная формация ордовикского и раннесилурийского возраста распространена в Рассошинской зоне Омулевского поднятия, представлена переслаивающимися глинистыми сланцами, кристаллокластическими и литокластическими туфами, вулканомиктовыми песчаниками, базальтами, трахибазальтами, реже—хлоритизированными известняками. В целом в разрезе вулканические и осадочные породы находятся примерно в равном соотношении с обособлением пачек, где преобладает та или иная литологическая разность пород мощностью от 200 до 800 м. Мощность пластов эффузивов 20—60 м. Мощность формации 3460 м (Мерзляков). Породы формации дислоцированы в линейные складки северо-западного простирания.

Пестроцветная терригенно-карбонатная (гипсоносная) формация объединяет отложения позднего силура—позднего девона (в Рассошинской зоне и в Приколымском поднятии только отложения девона). В строении формации четко выделяются регрессивные и трансгрессивные циклы осадконакопления. Трансгрессивные осадки представлены выдержанными по мощности и простиранию известняками массивными или толстопластовыми, часто рифогенными, доломитами, реже терригенными породами. Во время регрессии наряду с известняками и доломитами происходило накопление пестроцветных мергелей, гипсов, ангидритов в сочетании с песчаниками, алевролитами и конгломератами. Мощность пачек регрессивных серий осадков от 50 до 700 м, трансгрессивных — от 500 до 1000 м. Общая мощность формации достигает 1300—2900 м. Породы дислоцированы в складки северо-западного и северо-восточного простирания различной степени напряженности и осложнены многочисленными разрывами, обычно совпадающими с общим простиранием пород.

В зоне выветривания (по данным бурения) мощность интенсивнотрещиноватых карбонатных пород составляет 7—9 м. Трещины различного направления, заполнены льдом или известковой мукой. Ниже, до глубины 80—100 м, трещины полностью или частично залечены кальцитом или гипсом. Обнаружены карстовые пустоты (Мухомор, 1965).

Песчаники и ангидриты крепкие и средней крепости (k=6—8). Значительно меньшая крепость у мергелей и гипсов (k=1,5—3). Временное сопротивление сжатию известняков и доломитов $800 \cdot 10^5$—$1600 \cdot 10^5$ Па, терригенных разностей — $400 \cdot 10^5$—$600 \cdot 10^5$ Па. На юге Омулевского поднятия (по данным Северо-Восточного территориального геологического управления) девонские мелко- и среднекристаллические известняки имеют следующие показатели: объемная масса 2,65—2,695 г/см^3; плотность 2,73 г/см^3; водопоглощение 0,31%; коэффициент размягчаемости 0,8—0,9; временное сопротивление сжатию $945 \cdot 10^5$—$1565 \cdot 10^5$ Па.

При строительстве наземных зданий и сооружений нормативное давление на трещиноватые известняки принимается $8 \cdot 10^5$ Па, на «разборную скалу» при отсутствии в ней зияющих, заполненных глиной или льдом трещин — до $6 \cdot 10^5$ Па.

Кремнисто-карбонатная формация объединяет морские, в меньшей степени континентальные отложения каменноугольного и пермского возраста, распространенные преимущественно в периферических частях поднятий и наиболее широко—в Приколымском поднятии. Формация представлена переслаивающимися между собой кремнисто-глинистыми и глинистыми сланцами, яшмовидными породами, алевролитами, песчаниками, органогенными известняками, туфами и туффитами базальтового и андезитового состава, покровами и пластовыми залежами базальтов. Известняки имеют подчиненное значение и приурочены преимущественно к основанию и верхним горизонтам разреза, образуют слои мощностью 5—70 м. Туфы, туффиты, покровы эффузивных пород чаще встречаются в средней части разреза. Яшмовидные кремнистые породы наиболее широко распространены в Омулевском поднятии, где образуют пачки мощностью до 200 м. Для всего разреза формации характерно наличие шаровидных и неправильной формы конкреций размером до 1 м. Их состав кремнистый, глинисто-кремнистый, сидеритовый, кристаллический известняк и др.

Континентальные отложения, входящие в состав формации, представлены верхнекаменноугольными отложениями — миндалекаменными базальтами, туфогенными песчаниками и конгломератами общей мощ-

ностью 210 м. Мощность формации 1000—2000 м. Породы дислоцированы в сложные линейные складки.

Временное сопротивление сжатию базальтов (по данным 2-го ГГУ) $1400 \cdot 10^5$—$1600 \cdot 10^5$ Па, сланцев и алевролитов — $800 \cdot 10^5$—$1000 \cdot 10^5$ Па. Значения нормативного давления, по данным изысканий в пос. Лобуя (правобережье Колымы), принимаются следующими: для трещиноватых плитчатых сланцев с видимым включением прослоек льда на глубине 3 м — $4 \cdot 10^5$ Па, для ненарушенных сланцев на глубине более 6 м — $42{,}5 \cdot 10^5$ Па.

Песчано-глинистая сероцветная формация триасового-среднеюрского возраста распространена ограниченно в периферических частях поднятий. Она представлена тонкообломочными породами полимиктового состава: глинистыми и песчано-глинистыми сланцами, алевролитами и в меньшей степени песчаниками и песчанистыми известняками, переслаивающимися между собой. Мощность формации 250—800 м. Разрез характеризуется частыми перерывами и выпадением отложений иногда целых отделов. По крепости и трещиноватости породы формации аналогичны одновозрастным образованиям Верхоянского региона.

Терригенно-вулканогенная молассовая формация поздней юры распространена преимущественно в Элекчанском, Гармычанском и Лыглыхтанском грабенах, являющихся как бы структурным продолжением Илинь-Тасской складчатой зоны Момского региона, а также в Догдинской впадине. Литологический состав формации аналогичен одновозрастным отложениям Момского региона. Мощность формации 2000—3000 м. Породы дислоцированы в сильносжатые крутые складки северо-западного простирания, осложненные многочисленными разломами.

Терригенная молассовая формация мелового возраста выполняет небольшие по площади впадины и представлена континентальными осадками: песчаниками, конгломератами, алевролитами и аргиллитами с пластами каменного угля общей мощностью 400– 600 м.

Терригенная молассовая формация неогена-раннего плейстоцена в Уяндинской впадине представлена слабо сцементированными конгломератами, песками, пылеватыми глинами с прослоями бурого угля общей мощностью около 200 м. В Догдинской впадине она сложена галечниками, песками и супесями с остатками древесины мощностью до 60 м.

Гранитоидная формация мелового возраста наиболее широко распространена в северо-западной части региона. Форма и размеры интрузивных тел различны — от крупных батолитов до штоков и даек. По петрографическому составу и физико-техническим характеристикам они не отличаются от одновозрастных гранитоидов, развитых в Верхоянском регионе, где они лучше изучены.

Ледниковые и водно-ледниковые средне-верхнеплейстоценовые отложения распространены в межгорных впадинах горной системы Черского. Первые слагают конечные морены, частично перемыты и представлены несортированным валунно-глыбовым материалом с небольшим содержанием заполнителя. Размер валунов и глыб от 0,5 до 5 м. Водно-ледниковые отложения занимают небольшие площади вдоль внешнего края морен и состоят из мелковалунного и галечно-песчаного материала. Мощность ледниковых и водно-ледниковых отложений 20—60 м.

Озерно-аллювиальные верхнеплейстоценовые отложения развиты

в расширенных участках речных долин, вблизи выхода их на Колымскую низменность. Они слагают четко выраженную террасовидную поверхность, представлены супесями и суглинками, содержащими ископаемые льды; при оттаивании обладают просадочными свойствами. Аналогичные отложения подробно описаны в Яно-Колымском регионе.

Аллювиальные отложения голоцена слагают пойму и I надпойменную террасу. Горный аллювий представлен плохо сортированным крупным галечником, слабоокатанными валунами и глыбами. В широкой долине Индитирки русловая фация террас представлена супесями и песками, а пойменная — горизонтально- и косослоистыми суглинками с линзами и прослоями перемытого торфа. На поверхности высокой поймы широко развиты торфяники. Современные аллювиальные отложения в долине р. Колымы представлены слоистыми песками, супесями и суглинками с прослоями гравия, галечников, а в верхних горизонтах — торфа. Мощность аллювиальных отложений обычно не превышает 20 м.

Элювиальные и склоновые образования голоцена обычно маломощны (до 3 м). Состав их подчиняется общим закономерностям и зависит от литологии подстилающих коренных пород и крутизны склона. Крупнообломочные образования с глыбами размером более 0,5 м и с небольшим содержанием глинистого заполнителя чаще всего развиваются на карбонатных породах и гранитоидах. Продуктами разрушения песчано-сланцевых пород являются щебень, мелкие глыбы в сочетании со значительным количеством глинистого и супесчаного заполнителя. Нормативное давление на мерзлые, преимущественно щебнистые разности при температуре —1,5° составляет $9 \cdot 10^5$ Па, на дресвяные грунты — до $6 \cdot 10^5$ Па. Нормативное давление на мерзлые распученные льдом супесчано-суглинистые грунты с содержанием до 25% крупнообломочного материала при температуре —1,5° составляет $3 \cdot 10^5$—$5 \cdot 10^5$ Па. В талом состоянии грунты мало пригодны в качестве естественных оснований сооружений.

Мерзлотно-гидрогеологические условия

Многолетнемерзлые породы в регионе развиты практически повсеместно и прерываются только в местах выхода подмерзлотных вод, под руслами и частично под поймами крупных рек. Ширина таликов может достигать 2 км. Мощность мерзлых пород 150—700 м, максимальные значения характерны для горных сооружений с абсолютными высотами более 1100 м, а минимальные — для низкогорий и долин рек. Так, в южной части Омулевского поднятия в скважинах на Тирехтяхском и Встреченском месторождениях цементного сырья нижняя граница мерзлоты фиксируется на глубине от 153 до 249 м при абсолютных высотах местности 400—500 м. Температура многолетнемерзлых пород в подошве зоны годовых колебаний в зависимости от их мощности изменяется от —5 до —11°. Мощность сезонноталого слоя 0,5—2 м.

В регионе развиты надмерзлотные воды, воды таликов и подмерзлотные.

Надмерзлотные воды сезонноталого слоя приурочены к четвертичным отложениям и трещиноватой зоне коренных пород. Распространены они почти повсеместно. Мощность водоносного горизонта обычно не превышает 0,1—0,3 м, в долинах рек может достигать 2—

3 м. Выходы вод наблюдаются у подножий и в нижних частях выположенных склонов, на дне распадков, в ложбинах. Родники обычно нисходящие, с дебитами 0,05—3,5, чаще 0,1—3 л/с.

Обводненные таликовые зоны развиты в долинах водотоков длиной более 5—6 км и на участках тектонических нарушений. Ширина подрусловых таликовых зон к концу зимнего периода составляет 30—250 м, в долине р. Колымы достигает 600—1200 м. Мощность водоносного горизонта до 10 м. При мощности более 7—8 м обводненные таликовые зоны, как правило, сохраняются всю зиму. Воды подрусловых таликов безнапорные, только в начале зимнего периода они могут приобрести незначительные напоры до 0,8—1,5 м. Уровень подрусловых вод подвержен значительным колебаниям. Воды таликовых зон на участках тектонических нарушений имеют сложный напорно-безнапорный режим циркуляции. Мощность таликовых зон здесь 4—10 м; дебит источников обычно не превышает 2 л/с, при групповых выходах суммарные дебиты достигают 50 л/с.

Надмерзлотные воды таликов и сезонноталого слоя циркулируют в зоне свободного водообмена. Для них характерны: минерализация от 20 до 200 мг/л, гидрокарбонатный кальциевый и натриевый состав, общая жесткость 0,36—11,34 мг·экв/л, чаще 0,5—0,8 мг·экв/л, содержание свободной углекислоты до 31,7 мг/л, pH 5,5—7,5 (обычно 5,8—6,3). Воды обладают общекислотной и выщелачивающей агрессивностью по отношению к бетону.

Ниже толщи многолетнемерзлых пород по зонам интенсивной трещиноватости и тектонических нарушений циркулируют трещинные, пластово-трещинные и трещинно-карстовые подмерзлотные воды. Обводненность пород подмерзлотными водами носит локальный характер. Наиболее обводнены разломы, омоложенные в четвертичное время. Подмерзлотные трещинно-жильные воды вскрыты скважинами в одной из речных долин на глубине 12—15 м. Напор здесь составил 10—14 м. Дебит скважины около 3,5 л/с. Подмерзлотные воды имеют минерализацию 40—60 мг/л, сульфатно-гидрокарбонатный магниево-натриевый и магниево-кальциевый состав, общая жесткость составляет 3,45 мг·экв/л, pH 6,7—7,1. Воды агрессивными свойствами не обладают.

Современные геологические процессы и явления

В регионе наиболее широко распространены карст, наледеобразование, а также связанные с многолетней мерзлотой и особенностями климата термокарст, морозное выветривание и солифлюкция.

Несмотря на широкое развитие растворимых пород (известняков, доломитов, гипсов и ангидритов) в составе терригенно-карбонатных формаций, процесс карстообразования в регионе ослаблен многолетней мерзлотой. Поверхностный карст проявляется лишь в сфере влияния деятельного слоя и выражается образованием трубчатых каналов диаметром 3—10 см и пещерообразных углублений в естественных обнажениях (Мухомор, 1965). Подземный карст развивается в зоне подмерзлотной трещиноватости и по разломам. В южной части Омулевского поднятия на глубине 20—70 м зафиксированы мелкие карстовые пустоты и трещины размером до 0,5 м.

Наледи, связанные с разгрузкой на поверхности подмерзлотных вод, широко развиты в долинах рек Омулевка, Таскан и др. Размеры

их различны: в долине р. Догдо цепочка наледей растянута на 75 км; площадь отдельных наледных полей достигает 4 км^2, мощность до 3 м.

Термокарст развит ограниченно только в долинах крупных рек (Индигирки, Колымы и др.).

Скальные породы в горных массивах подвержены морозному выветриванию с образованием глыбовых осыпей и россыпей. На пологих склонах, особенно в Полоусненском хребте и на Юкагирском плоскогорье, широко распространена солифлюкция.

МОМСКИЙ И ОЛОЙСКИЙ РЕГИОНЫ

Регионы представляют собой позднемезозойские структуры Алазейской складчатой системы, территориально разобщенные. Момский регион расположен в среднем течении Индигирки, Олойский — в нижнем течении рек Омолон и Бол. Анюй. Оба региона преимущественно горные, но характер их рельефа различный.

Рельеф Момского региона обусловлен контрастными неотектоническими движениями, градиенты которых достигают 30—50 м/км. Большая часть региона занята сводово-глыбовым поднятием Момского хребта, который сочетается с участками глубоких опусканий — системой Момо-Селенняхских впадин. Момский хребет представляет собой крупное, в основном среднегорное, сооружение, густо и глубоко расчлененное (глубина расчленения 800—1000 м). Максимальные абсолютные высоты достигают 2000—2433 м, преобладают высоты 1500—1800 м. Водоразделы узкие, гребневидные, скалистые, склоны крутые, часто обнаженные, изборожденные густой сетью эрозионных ложбин. Вдоль северо-восточного склона хребта расположена полоса увалистых предгорий шириной 20—70 км с абсолютными высотами 200—500 м.

Олойский регион охватывает северную часть слабо расчлененного Юкагирского плоскогорья и Южно-Анюйский, Олойский и Уш-Урэкчанский горные хребты, отличающиеся значительным расчленением и абсолютными высотами 1000—1500 м.

Рельеф региона преимущественно низкогорный. Характерной чертой его является вытянутость горных гряд в северо-западном направлении, согласованном с простиранием основных тектонических структур. Горные гряды чередуются с широкими заболоченными долинами рек.

Реки регионов преимущественно горные, только Омолон и Бол. Анюй вблизи выхода на Колымскую низменность приобретают равнинный характер. Долины большинства рек Олойского региона и рек в пределах Момо-Селенняхской впадины широкие корытообразные. Многочисленные реки и ручьи в Момском хребте имеют узкие крутосклонные V-образные или ущелевидные долины. Долина Индигирки при пересечении Момского хребта узкая, корытообразная со скалистыми берегами.

Климат регионов континентальный, более суровый в Момо-Селенняхской впадине и несколько смягченный влиянием Восточно-Сибирского моря в Олойском регионе и в северо-восточных предгорьях Момского хребта. В соответствии с этим среднегодовая температура колеблется в пределах минус 12,5—16,9°; среднегодовое количество осадков 190- -283 мм (минимальные данные в Момо-Селенняхской впадине). В обоих регионах развита многолетняя мерзлота. Большая часть территории регионов покрыта редкостойными лиственничными лесами, которые в горных массивах выше абсолютных высот 400—700 м сменяются горными тундрами.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Позднемезозойские структуры Алазейской системы, входящие в описываемые регионы, представлены Илинь-Тасской и Восточно-Алазейско-Олойской складчатыми зонами, заложение которых произошло в начале поздней юры (см. рис. 3). Основанием складчатых зон являются палеозойские и доверхнеюрские мезозойские образования с геосинклинальным разрезом, обнажающиеся в немногочисленных поднятиях (Алучинское, Яракваамское и др.). Палеозойские отложения, входящие в состав основания описываемых складчатых зон, представлены пестроцветной терригенно-карбонатной, пестроцветной вулканогенно-терригенной, кремнистой песчано-глинистой андезитовой формациями (рис. 24). Своеобразным является разрез триасовых — среднеюрских отложений в Олойском регионе, представленный туфогенно-терригенной формацией (рис. 25). Собственно-складчатые зоны сложены морской вулканогенно-терригенной верхнеюрской молассой. В мелу и раннем кайнозое в Момском регионе продолжали формироваться мощные толщи континентальных моласс. В Олойском регионе в это время интенсивно проявлялся вулканизм, а терригенные молассы развивались на ограниченных площадях. Меловые вулканиты представлены породами андезитовой формации. Локальные излияния базальтовых лав в Олойском регионе происходили в палеогене, а в зонах подновленных разломов — даже в голоцене. Интрузивные породы (гранитоидные, реже габброидные) развиты ограниченно только в Олойском регионе.

Момский регион и участки проявления современного вулканизма в Олойском регионе характеризуются повышенной сейсмичностью, сила землетрясений может достигать 7 баллов.

Рыхлый покров в регионах представлен преимущественно склоновыми образованиями, в долинах и впадинах — комплексами аллювиальных, озерно-аллювиальных и ледниковых отложений.

Пестроцветная терригенно-карбонатная формация девона распространена на юго-западе Олойского региона в Яракваамском и Алучинском подпятиях. Небольшой блок девонских карбонатных пород обнажается в северо-западной части Момского региона. В состав формации входят мраморизованные известняки, известковистые песчаники, красноцветные полимиктовые песчаники, сланцы и конгломераты. Чередование в разрезе известняков и красноцветных отложений, а также наличие конгломератов характеризуют неустойчивый режим осадконакопления, смену морских и субконтинентальных условий.

Пестроцветная вулканогенно-терригенная формация средне-позднедевонского возраста ограниченно распространена на правобережье р. Омолон, состав ее близок аналогичным образованиям в Омолонском регионе.

Кремнисто-песчано-глинистая андезитовая формация пермского возраста развита на юго-востоке Олойского региона и представлена алевролитами, полимиктовыми и туфогенными песчаниками, кремнистыми сланцами (яшмоидами), пепловыми туфами, туфобрекчиями андезитового состава. Кроме того, в разрезе наблюдаются линзы песчанистых и битуминозных известняков и пластовые интрузии диабазов. Мощность пород формации 1300—1700 м.

Туфогенно-терригенная формация триасового-среднеюрского возраста распространена на юго-востоке Олой-

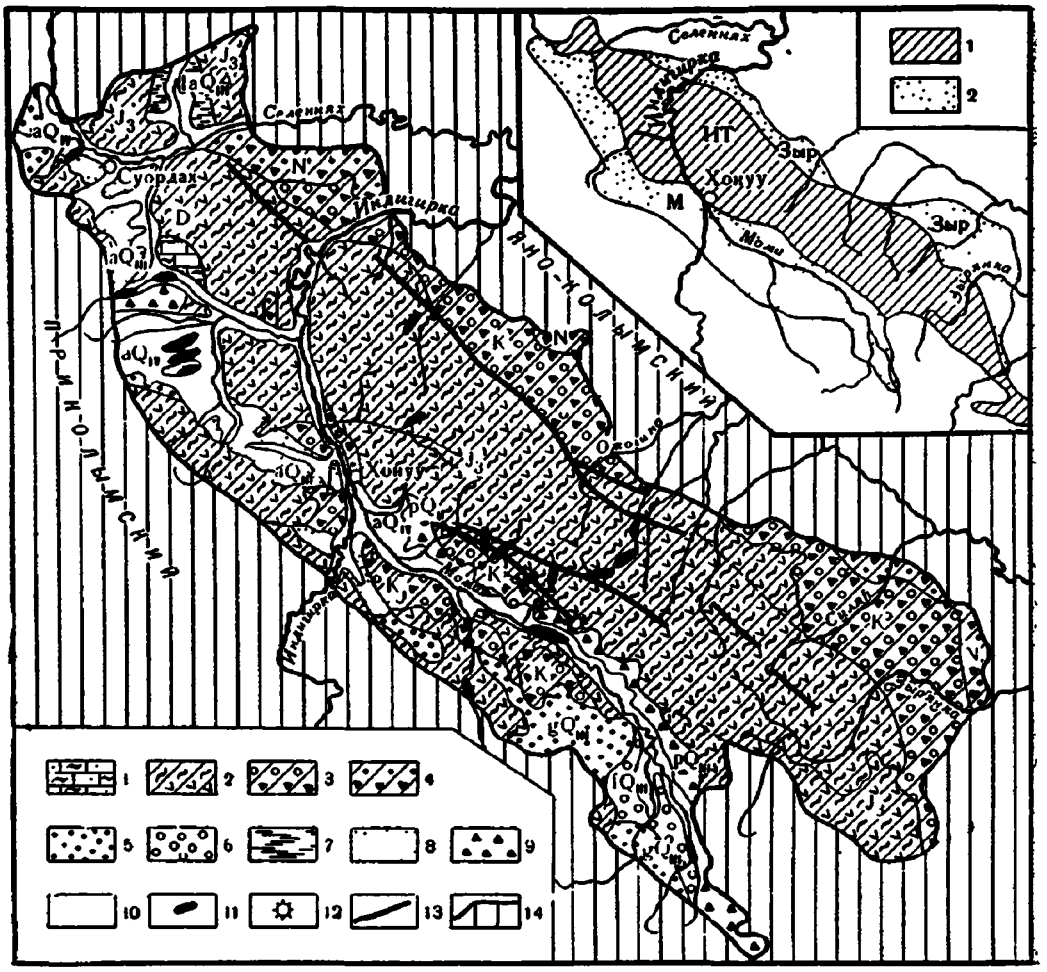


Рис. 24. Схематическая инженерно-геологическая карта Момского региона. Формации: 1 — пестроцветная терригенно-карбонатная (D); 2 — вулканогенно-терригенная молассовая (J_3); 3 — терригенная молассовая мелового возраста (K); 4 — терригенная молассовая неогена (N). Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений: верхнеплейстоценовые: 5 — ледниковые (gQ_{III}); 6 — водно-ледниковые (fQ_{III}); 7 — озерно-аллювиальные (laQ_{III}); 8 — аллювиальные (aQ_{III}); 9 — пролювиальные (pQ_{III}); 10 — голоценовые аллювиальные (aQ_{IV}); 11 — наледи; 12 — вулкан четвертичного возраста; 13 — разрывные тектонические нарушения; 14 — граница региона и сопредельные территории.
На врезке. Схема структурных элементов региона.
1 — Илинь-Тасский горст-антиклинорий (ИТ); 2 — Момо-Селенняхская впадина (М); Зырянский прогиб (Зыр)

ского региона. Представлена она незакономерно чередующимися алевролитами, аргиллитами, вулканомиктовыми и полимиктовыми песчаниками, туфами андезитов, конгломератами и туфоконгломератами. Накопление осадков происходило в непосредственной близости от источников сноса обломочного материала при активной вулканической деятельности. В морской бассейн, где накапливались терригенные осадки, поступал обильный пирокластический материал, примесь которого прослеживается по всему разрезу формации. Породы формаций скальные крепкие и средней крепости, их физико-механические свойства не изучены. Мощность формации около 4000 м.

Вулканогенно-терригенная молассовая формация поздней юры в регионах имеет исключительно широкое распространение. В орогенный этап развития мезозоид территория описываемых складчатых зон представляла собой обширные области осадконакопления, в которые терригенный, часто грубообломочный материал поступал с прилегающих молодых складчатых сооружений и с Омолонского массива.

В начале прогибания позднемезозойских впадин, особенно в краевых их частях, интенсивно проявлялся вулканизм. Большинство разрезов молассы в Момском регионе и на юго-востоке Олойского региона начинается лавами и туфами андезитов, дацитов и липаритов, среди которых наблюдаются лишь прослои конгломератов, аргиллитов, алевролитов и песчаников. Во второй половине поздней юры в условиях максимального прогибания участков осадконакопления при лагунно-морском режиме формируется толща ритмично чередующихся терригенных пород (глинистых сланцев, алевролитов, разнозернистых песчаников и конгломератов). Вверху формации количество конгломератов значительно увеличивается (до 70—75% разреза). Вулканогенные породы в верхней части разреза практически исчезают, но в Олойском регионе туфовый материал входит в состав песчаников и конгломератов по всему разрезу. Мощность формации 1600—2300 м, в северо-западной части Момского региона достигает 4900 м. Породы дислоцированы в складки северо-западного простирания. В Момском регионе преобладают мелкие крутые складки с углами падения крыльев 40—80°, лишь местами наблюдаются складки супдучного типа с пологими сводами. В Олойском регионе вулканогенно-терригенные породы смяты в пологие линейные и брахиморфные складки с широким размахом крыльев и углами падения 15—30°.

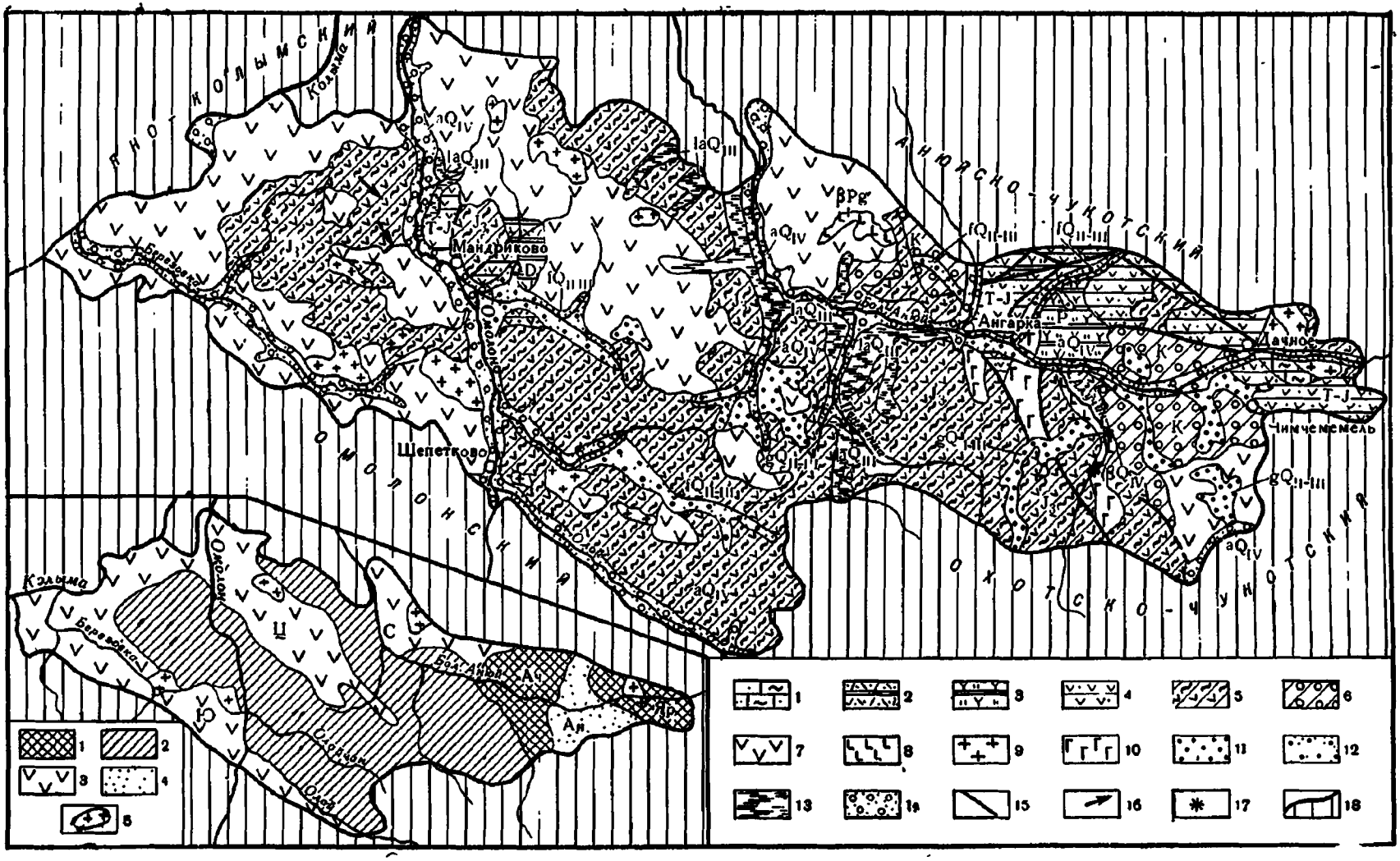
Все литологические разности пород формации крепкие и средней крепости. Сланцы слоистые или массивные с раковистым изломом. Песчаники плитчатые и массивные туфогенные или полимиктовые. Конгломераты мелкогалечные (гальки 40—80%) с песчаным или туфовым цементом, массивные. Физико-механические свойства пород, охарактеризованные 2-м ГГУ по единичным анализам, приведены в табл. 14.

Таблица 14

Физико-механические свойства пород вулканогенно-терригенной молассовой формации

Породы	Объемная масса, г/см³	Временное сопротивление сжатию в воздушно-сухом состоянии, 10^6 Па	Коэффициент пористости
Глинистые сланцы . . .	2,3—2,7	400—600	6—8
Туфы	2,6	400—600	6—8
Песчаники и конгломераты	2,5—2,7	1000—1400	6—10

Терригенная молассовая формация мелового возраста широко распространена в Момском регионе и ограниченно — в Олойском. В Момском регионе моласса представлена мощной толщей континентальных угленосных отложений, выполняющих Зырян-


Колыма
Берелёх
Мандриково
Шепетково
Омолон
Ангарка
Ачное
Чинчемель
Ожогино
Ай
Ар
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18

ский прогиб и Момо-Селенняхскую впадину. Формирование молассы происходило в условиях зарастающих болот и аллювиальных равнин при режиме интенсивного, но неравномерного прогибания территории. Моласса сложена конгломератами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами с прослоями углистых аргиллитов и пластов каменного угля. Неравномерное опускание прогибов оказало влияние на характер переслаивания и состав пород. Нижняя часть разреза характеризуется относительно равномерным переслаиванием, преобладанием тонко- и мелкозернистых песчаников при незначительной роли конгломератов. В средней части разреза увеличивается роль аргиллитов и алевролитов, появляется большое количество пластов углей. Самые верхи характеризуются неоднородным составом и общим погрублением осадков (крупно- и грубозернистые песчаники и конгломераты мощностью до 250 м). В отдельных частях разреза наблюдается ритмичное переслаивание. Общая мощность формации около 7000 м. Иной характер имеет моласса в северо-восточной части Олойского региона. Нижняя часть разреза представлена морскими образованиями: алевролитами и аргиллитами, полимиктовыми песчаниками, конгломератами, туфоконгломератами с линзами пестроокрашенных туфов, базальтов мощностью от 400 до 1000 м. Выше по разрезу они сменяются прибрежно-морскими кварц-полевошпатовыми и полимиктовыми песчаниками с прослоями и линзами алевролитов и мелкогалечных конгломератов, содержащих остатки углефицированной древесины общей мощностью около 1500 м. Венчают разрез континентальные угленосные образования, представленные сложнопереслаивающимися песчаниками от мелко- до грубозернистых, углистыми алевролитами и аргиллитами, содержащими линзы гравелитов и прослои каменного угля. Мощность континентальной части разреза 1300 м. Суммарная мощность формации в Олойском регионе 3200—3800 м.

Породы терригенной молассы в обоих регионах дислоцированы в пологие брахисинклинальные складки с углами падения крыльев 15—20°, местами залегание пород почти горизонтальное пологоволнистое, лишь вблизи разломов углы падения пород иногда увеличиваются до 90°. Породы слабые или средней крепости, обладают различными физико-механическими свойствами, которые приводятся в табл. 15.

Рис. 25. Схематическая инженерно-геологическая карта Олойского региона.
Формации: 1 — пестроцветная терригенно-карбонатная (D); 2 — пестроцветная вулканогенно-терригенная (D); 3 — кремнисто-песчано-глинистая андезитовая (P); 4 — туфогенно-терригенная ($T—J_2$); 5 — вулканогенно-терригенная моласовая (J_3); 6 — терригенная молассовая (K); 7 — андезитовая (K); 8 — базальтовая (P, Q_{IV}); 9 — гранитоидная; 10 — габброидная. Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений: средне-верхнеплейстоценовые: 11 — ледниковые (gQ_{II-III}); 12 — водно-ледниковые (fQ_{II-III}); 13 — верхнеплейстоценовые озерно-аллювиальные (laQ_{III}); 14 — верхнеплейстоценовые-голоценовые аллювиальные отложения (laQ_{III-IV}), 15—разрывные тектонические нарушения; 16 — участки широкого развития солифлюкции; 17 — вулкан четвертичного возраста; 18 — граница региона и сопредельные территории.
На врезке. Схема структурных элементов региона.
1 — структуры основания Олойского прогиба: поднятия Алучинское (Ач) и Яракваамское (Яр); 2 — позднегеосинклинальный прогиб, выполненный верхнеюрскими отложениями; 3 — орогенные вулканические пояса: северный (с), центральный (ц) и южный (ю); 4 — наложенные раннемеловые впадины (Ан-Айнахкургенская); 5 — интрузии гранодиоритов

Нормативное давление на породы в зоне интенсивной трещиноватости не более $5 \cdot 10^5$ Па.

В подземных выработках Зырянского угольного бассейна пласты углей проходились при сплошном креплении, а вмещающие породы — вразбежку. Угли Зырянского месторождения склонны к самовозгоранию. Подземные пожары распространялись на глубину 40—45 м. Подземные выработки Зырянского месторождения сильно загазованны и взрывоопасны (Вереземская, 1956; Самусенко, 1969).

Таблица 15

Физико-механические свойства пород терригенной молассовой формации

Породы	Объемная масса, г/см³	Временное сопротивление пород сжатию, 10^5 Па	
		в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии
Зырянский угольный бассейн			
Песчаники	—	951—1044	524—631
Олойский регион			
Глинистые сланцы . . .	2,2—2,7	1030	—
Песчаники и алевролиты	2,6—2,7	1140—1350	—
Гравелиты, конгломераты	2,74—2,77	800—1400	—

Примечание. По Зырянскому угольному бассейну приводятся данные Ленгидропроекта, по Олойскому региону — 2-го ГГУ.

Интрузивные породы в Момском регионе практически отсутствуют, в Олойском они представлены преимущественно гранитоидной формацией раннего мела. Размер интрузивных тел разнообразный — от совсем мелких тел до крупных массивов протяженностью 30—40 км. В современном срезе они имеют неправильную форму — длинные оси их ориентированы, как правило, вдоль складчатых структур. В составе формации наибольшим развитием пользуются гранодиориты и граниты. Физико-механические свойства их не изучены.

Породами габброидной формации сложены небольшие дайки и штоки как в Олойском, так и в Момском регионах.

Породами андезитовой формации раннего мела сложены три вулканогенных пояса в Олойском регионе, вытянутых в северо-западном направлении (см. рис. 25). Хотя в возрастном отношении и по составу пород они идентичны эффузивным образованиям Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, но находятся с ним в явном структурном несоответствии, характеризуются значительно меньшей мощностью (Тильман, 1970). Породы представлены переслаивающимися лавами и туфами андезитов, андезито-базальтов, реже базальтов и дацитов, содержащими прослои туфобрекчий, туфогравелитов и вулканомиктовых песчаников. Мощность формации 1000—1500 м, местами, возможно, и больше. Мощность покровов и пластов андезитов и базальтов 5—70 м, туфобрекчий — 1—15, туфов и песчаников — до 10 м.

Вулканогенные породы в регионе смяты в пологие коробчатые складки северо-западного простирания. Основные физико-механические свойства их по данным единичных анализов 2-го ГГУ приводятся в табл. 16.

Таблица 16

Физико-механические свойства пород андезитовой формации

Породы	Объемная масса, г/см³	Плотность, г/см³	Временное сопротивление пород сжатию, 10^6 Па		Водопоглощение, %
			в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии	
Андезиты . . .	2,66	2,72	1220	1200	0,32
Базальты . . .	2,77	2,75	1950	1900	0,3
Дациты	2,5—2,6	2,6—2,7	1000—1300	—	—
Туфобрекчии .	2,74	2,78	1000	800	0,16
Туфы	2,52—2,7	2,6—2,75	920—1500	800 1300	0,3—3
Туфопесчаники	2,59	2,68	1600	1300	0,81

Породы базальтовой формации кайнозойского возраста в Олойском регионе распространены крайне ограниченно. Покровы палеогеновых базальтов встречаются на пенепленезированных участках рельефа по правобережью р. Бол. Анюй. Они характеризуются почти горизонтальным залеганием, кайнотипным обликом, миндалекаменным сложением, столбчатой отдельностью. Мощность отдельных покровов и потоков 10—70 м. В разрезе иногда встречаются линзы лавобрекчий мощностью 2—7 м и прослои туфов мощностью 0,5—1,5 м. Общая мощность палеогеновых вулканогенных пород до 50 м, реже 300—400 м. Голоценовые базальты распространены в долине р. Алучин. Ими сложен лавовый поток шириной 10—12 км, протяженностью 65—70 км и мощностью до 40 м. Базальты крепкие, невыветрелые, массивные или тонко-, реже грубопористые. Пористость достигает 30—40%, размер пор 5—15 мм, поры без заполнителя. Массивные и пористые базальты связаны постепенными взаимопереходами.

Небольшой лавовый поток площадью 1,8 км² и вулканический конус, сложенные пузыристыми базальтами и спекшимися шлаками, расположены в южной части Момо-Селенияхской впадины на верхнеплейстоценовой террасе р. Момы. Физико-механические свойства эффузивных пород приведены в табл. 17 (единичные определения 2-го ГГУ).

Терригенная моласса неоген-раннеплейстоценового возраста развита в Зырянском прогибе и Момо-Селенияхской впадине. Состав ее изменяется в зависимости от близости к областям сноса. Ближе к горам это грубообломочные отложения плотиковых и русловых фаций аллювия (слабо сцементированные конгломераты и песчаники, галечники). Пойменные фации занимают в разрезе резко подчиненное значение и представлены мелко- и тонкозернистыми песками с примесью супесей, обогащенных органическим веществом. Озерные отложения, входящие в состав формации, представлены алевролитами, органогенными илами, суглинками, тяжелыми супесями, пылеватыми песками, часто с примесью крупнообломочного материала, лигнитами, бурыми углями. Породы формации находятся в многолетнемерзлом состоянии. Криогенные текстуры трещинные миграцион-

Таблица 17

Физико-механические свойства пород базальтовой формации

Породы	Возраст	Объемная масса, г/см³	Плотность, г/см³	Временное сопротивление пород сжатию, 10^5 Па		Водопоглощение, %
				в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии	
Базальты плотные	P	2,7	2,75—2,79	1800—2000	1700	0,48
Базальты пористые . . .	»	2,5	—	—	—	—
Туфы	»	2,2—2,5	2,6—2,62	400—1500	—	—
Базальты тонкопористые .	Q_{VI}	2,52	2,67	960	.760	1

но-сегрегационные и конжеляционные. Обычно шлиры льда толщиной от 1 до 15 см образуют решетку, оконтуривающую блоки породы высотой 0,3—0,5 м и длиной 0,8—1 м. Общая льдистость грунтов 30—55%. Мощность пород формации от 80 до 300 м.

Ледниковые и водно-ледниковые отложения среднего и позднего плейстоцена слагают валы и холмы в межгорных впадинах и террасовидные поверхности в троговых долинах рек, отвечающие уровню III надпойменной террасы высотой 10—20 м. Сложены они галечниками с примесью глыб, валунов размером от 0,5 до 5 м, а также песка и супеси. Валы конечных, боковых и донных морен высотой до 150 м. На выходах из троговых долин ледниковые отложения сменяются водно-ледниковыми, состоящими из более мелкообломочного материала со значительным содержанием песков, суглинков и супесей. Мощность ледниковых отложений от 10 до 100 м. Криогенные текстуры ледниковых и водно-ледниковых отложений массивные, корковые, реже, в более дисперсных осадках, тонкослоистые сильно разрежеиные. Объемная льдистость обычно ие превышает 10—15%.

Озерно-аллювиальные верхнеплейстоценовые отложения распространены в северо-западной части Момо-Селеняхской впадины и в расширенных участках долин рек Омолон и Бол. Анюй. Верхняя часть разреза обычно преобразована многократно повторяющимися процессами сезонного промерзания и протаивания и может быть выделена в самостоятельную криоэлювиальную фацию. По составу это пылеватые супеси, пески, торф, содержащие мощные сингенетические повторно-жильные льды шириной в среднем 4—5 м при высоте 10—20 м. Общая объемная льдистость пород достигает 70—95%. Криогенная текстура пород разнообразна, наиболее распространенной является часто- и среднеслоистая, толсто- и среднешлировая. Благодаря сильной льдистости отложения обладают просадочными свойствами при оттаивании. Нормативное давление на мерзлые грунты при температуре —2° составляет $2,5 \cdot 10^5$—$3 \cdot 10^5$ Па.

Пролювиальные верхнеплейстоценовые отложения слагают конусы выноса и пролювиальные шлейфы шириной 20—40 км у подножий Момского хребта. Формирование их связано с деятельностью временных потоков в период интенсивных неотектонических поднятий хребта. Представлены они вблизи гор валунно-галечным материалом различной степени окатанности, который по мере удаления от гор сменяется

песками и супесями. Видимая мощность отложений достигает 30—50 м. Физико-механические свойства их не изучены.

Верхнеплейстоценовые аллювиальные отложения слагают II надпойменную террасу в долинах рек Бол. Анюй и Омолон. Представлены они галечниками, песками (русловая фация), в верхней части - супесями с линзами погребенного льда (пойменная фация). В Момском регионе верхнеплейстоценовые аллювиальные отложения принимают участие в строении цокольных смешанных момских террас 40—80-метрового уровня. Представлен аллювий песчано-глинистым и галечным материалом мощностью 3—20 м. На отдельных участках разрез венчается 2—3-метровой толщей торфяников. В отложениях нередко развиты повторно-жильные льды мощностью до 3—4 м. Объемная льдистость отложений 50—70%. Криогенная текстура редко- и среднеслоистая, средне- и тонкошлировая, между ними — сетчатая, микрошлировая. Реже встречаются массивные криогенные текстуры.

Голоценовые аллювиальные отложения слагают I надпойменную террасу и пойму. В Олойском регионе в их строении четко выражены пойменная и русловая фации. Первая представлена супесью или тонкозернистыми песками мощностью 1—3 м, вторая — галечниками. В Момо-Селенняхской впадине в местах развития наледей пойма и I надпойменная терраса образуют единую поверхность со своеобразным микрорельефом: невысокими террасовидными уступами, следами многочисленных русел. В результате постоянного воздействия наледи на рельеф, проявляющегося в увеличении наледных поляи как в длину, так и в ширину, размываются тонкодисперсные отложения поймы и I террасы с образованием своеобразных грубодисперсных, в достаточной степени промытых накоплений (наледный аллювий), обычно представленных песчано-гравийно-галечными осадками, с подчиненным количеством мелких фракций преимущественно в низах толщи. Наледный аллювий характеризуется массивными криогенными текстурами, объемной льдистостью 15—30%. Максимальные значения льдистости в отложениях I надпойменной террасы в районе пос. Хонуу наблюдались на глубине до 2 м.

Физико-механические свойства аллювиальных отложений изучены институтом Дальстройпроект на строительной площадке пос. Мандриково, расположенной на правом берегу Омолона. Супеси в мерзлом состоянии распучены льдом, сильно просадочные, теряют несущую способность при оттаивании. Объемная масса их 1,34—1,82 г/см^3, суммарная влажность (льдистость) часто превышает 40%. Нормативное давление не более $1{,}5 \cdot 10^5$ Па при температуре мерзлых грунтов на уровне подошвы фундаментов не выше—0,5° и до $2{,}5 \cdot 10^5$ Па при температуре —1,5°. Крупнообломочные грунты (галечники) содержат в среднем гальки 53,9%, гравия—29,7 и песчаного заполнителя—16,4%. Льдистость в них в виде кристаллов, гнезд и линз колеблется от 5,5 до 22%, в среднем 11,3%. Встречаются прослои грунта с повышенной льдистостью мощностью 0,3—1 м. Объемная масса галечников в среднем 2,15 г/см^3; объемная масса скелета грунта 1,97 г/см^3; средняя пористость 27,6%. При оттаивании под нагрузкой галечники пойменных отложений будут испытывать неравномерную осадку от 1 до 11 см/м. Нормативное давление на оттаявшие грунты $4 \cdot 10^5$—$6 \cdot 10^5$ Па.

Элювиальные и склоновые образования голоцена представлены преимущественно крупнообломочным материалом с различным содержанием суглинистого или супесчаного заполнителя. Мощность их не более 3 м. Обычно в составе элювиальных отложений количество обломочного материала возрастает вниз по разрезу, но местами эта за-

кономерность нарушается действием морозной сортировки, в результате которой крупные обломки располагаются у поверхности. При грубообломочном составе отложений с малым процентом глинистого заполнителя в них развиваются контактные криотекстуры, в тонкодисперсных породах — линзовидные тонкошлировые. Суммарная влажность 13,3—26,4% (вблизи пос. Мандриково). При оттаивании под нагрузкой они могут давать неравномерную осадку от 4 до 21 см/м.

Делювиально-солифлюкционные образования слагают широкие шлейфы подножий. Представлены они супесями и суглинками с примесью щебня, глыб и дресвы. В мерзлом состоянии они распучены льдом (льдистость до 25—35%), в талом состоянии подвержены солифлюкционному течению, теряют несущую способность, обладают тиксотропными свойствами.

Непосредственно под склоновыми образованиями скальные породы в верхнем слое мощностью 1—1,5 м сильно трещиноваты (разборная скала). Трещины шириной 1—3, редко 5—8 мм, заполнены супесью или льдом. Такие грунты хотя и являются в мерзлом состоянии надежным основанием для фундаментов сооружений, при оттаивании могут давать осадку до 10 см/м.

Мерзлотно-гидрогеологические условия

Регион расположен в зоне многолетней мерзлоты, сплошность которой нарушается лишь таликами, связанными с разгрузкой подземных вод по тектоническим нарушениям и с отепляющим воздействием поверхностных вод. Под руслами и поймами рек сквозные талики чередуются с замкнутыми, мощность последних в долине р. Бол. Анюй — 5—25 м. Мощность многолетнемерзлых пород в зависимости от рельефа изменяется от 100 до 700 м. Максимальная мощность предполагается в Олойском и Момском хребтах. В Момо-Селенняхской впадине мощность мерзлых пород 300—400 м, Зырянском прогибе 165—240 м, а на участках отепляющего воздействия термокарстовых озер и подземных вод в зонах тектонических нарушений мощность сокращается до 60—80 м или формируются сквозные талики. Температура многолетнемерзлых пород колеблется от —5 до —11°. Глубина сезонного протаивания 0,2—3 м.

Гидрогеологические условия регионов определяются мерзлотными особенностями, сложными и многообразными процессами взаимодействия многолетнемерзлых и водоносных пород. В регионах развиты надмерзлотные, таликовые и подмерзлотные воды.

Надмерзлотные воды распространены практически повсеместно в сезоннопротаивающем слое, в рыхлых четвертичных отложениях. По характеру циркуляции это поровые воды; продолжительность их существования 3—4 мес. В речных долинах большую роль играют воды аллювиальных отложений в надмерзлотных таликах. Размеры таликов и запасы воды в них непостоянны. Максимальных размеров водоносные талики достигают в конце летне-осеннего периода. В долинах небольших рек наибольшая ширина таликов близка к ширине современной поймы и изменяется от 40 до 250, реже до 400 м при средней мощности талых пород 3—5 м. В долинах более крупных рек ширина таликов может достигать 500—700 м при средней мощности 6 м.

Подмерзлотные воды в Олойском регионе скважинами не вскрыты. Имеются отдельные сведения по источникам в восточной части региона, где развиты породы терригенных и вулканогенных формаций юры и раннего мела. В местах выходов источников на отметках 450—550 м образуются наледи объемом 3—5 млн. м³ (Никитина, Логинова, 1965). Дебиты источников в летнее время до 200—290 л/с. Химический состав наледного льда характеризуется преобладанием ионов гидрокарбоната и хлора, иногда на втором месте появляется сульфат-ион; в катионном составе преобладают натрий и кальций. Минерализация не превышает 0,1—0,14 г/л. Общая жесткость воды 0,5—1 мг·экв/л, pH около 7. Химический состав воды источника, расположенного на междуречье Банная — Пеженка (среднее течение р. Бол. Анюй), хлоридно-гидрокарбонатный натриевый при содержании хлора 50 мг/л. Подмерзлотные воды получают питание на возвышенных участках в восточной части прогиба, где существуют сквозные талики. На остальной территории Олойского региона происходит глубокий подмерзлотный сток при отсутствии водообмена с поверхностными водами.

В Момо-Селенняхской впадине в долине р. Тихон-Юрях (правый приток Индигирки) подмерзлотные воды в отложениях нижнемеловой молассы вскрыты скважиной на глубине 104 м. Воды напорные, пьезометрический уровень установился на 1,5 м выше устья скважины. В Зырянском прогибе подмерзлотные воды встречены на глубине 185—240 м, ниже регионального базиса эрозии (уровень Восточно-Сибирского моря). Большинство скважин в Зырянском угольном бассейне под многолетнемерзлыми породами входит в безводную зону подмерзлотной трещиноватости, что подтверждается резким поглощением при бурении промывочной жидкости до 50 м³/сут (Попов, 1959; Нестеров, 1964 и др.).

Современные геологические процессы и явления

Большинство современных геологических процессов и явлений в регионах связано с многолетней мерзлотой. Чрезвычайно широким распространением, особенно в Момском регионе, пользуется наледеобразование. Наледи часто полностью перегораживают долины рек, зимой создают морозные туманы и интенсивное инеобразование—явления, весьма неблагоприятные при строительстве и эксплуатации дорог и линий электропередач.

Большое количество наледей в Момо-Селенняхской впадине и в Момском хребте. В верховьях р. Момы в долинах ее небольших притоков расположена группа из девяти наледей общей площадью более 62 км², шесть из них образуют единую наледную линию протяженностью около 50 км. В среднем течении р. Момы расположена крупнейшая на севере Дальнего Востока Момская наледь, или Улахан-Тарын, площадью 84,1 км² с максимальной мощностью льда 5—6 м. Рост наледи происходит с ноября по апрель, даже в самые суровые зимы поверхность ее покрыта водой. Наледь питается подземными водами, заключенными в рыхлых и слабо сцементированных отложениях неоген-нижнеплейстоценовой и нижнемеловой моласс, и связана с выклиниванием водоносного горизонта при уменьшении мощности водовмещающих пород. Для образования Момской наледи необходим приток воды не менее 16 000 л/с. Крупная наледная зона протяженностью

250 км, состоящая из отдельных наледей площадью от 19 до 70 км², расположена в северо-западной части Момо-Селенняхской впадины в долинах рек Борылах, Нахаты и Учугей-Юрях.

В южной части Момского хребта в долинах правых притоков р. Момы прослеживается наледная линия, состоящая из 14 наледей, связанных с выходами подмерзлотных вод по глубинному разлому Улахан. На северном склоне хребта общая площадь наледей составляет около 40 км². В Олойском регионе в верховье р. Бол. Анюй и в долине р. Олой расположены наледи площадью более 10 км². В Момо-Селенняхской впадине, на расширенных участках долин рек Омолон и Бол. Анюй широко распространен термокарст, связанный с вытаиванием жильных льдов из озерно-аллювиальных, аллювиальных и ледниковых отложений. Термокарстовые озера диаметром 2—3 км достигают глубины 6—8 м. Небольшие локальные западины и канавы образуются при нарушении термического режима грунтов эрозией, особенно в верховьях рек, а зачастую и хозяйственной деятельности человека.

В Олойском регионе и в предгорьях Момского хребта на пологих склонах развивается солифлюкционный процесс. Наиболее интенсивно он проявляется на подмываемых берегах рек, сложенных сильнольдистыми породами, а также при нарушении растительного покрова, вырубке леса, на участках лесных пожаров. Солифлюкционные языки могут достигать 100 м длины при ширине до 30 м.

ВОСТОЧНО-ЧУКОТСКИЙ РЕГИОН

Регион занимает восточную часть Чукотского полуострова, тектонически отвечающую Восточно-Чукотскому срединному массиву. Большая часть региона представляет собой горную страну, в пределах которой широко развиты низкие сильно расчлененные горы с преобладающими отметками высот 600—800 м; отдельные вершины достигают 1000—1200 м. Для гор характерны кары, каровые озера, острые пики и гребни, крутые склоны (20—30, местами до 40—50°), покрытые щебнисто-глыбовыми осыпями. Узкие хребты, подходя к берегу моря, часто вдаются в него острыми мысами. Такая береговая линия — фиордовая расположена на юго-восточной части полуострова. Ванкаремской и Колючинско-Мичигменской низменностям, отдельным участкам прибрежной полосы, межгорным котловинам и широким долинам рек свойствен равнинный, преимущественно холмисто-западинный рельеф. Равнины полого спускаются к морю и лагунам. Холмы в пределах равнин чаще всего расположены группами, относительная высота их 15—50 м. Пространство между холмами занято озерами или заболочено. Местами среди холмистой равнины возвышаются останцовые горные массивы с абсолютными высотами 200—500 м.

Реки региона горные, характерны малыми глубинами, частыми перекатами и большой скоростью течения. Долины их в верховьях V-образные, в средних и нижних течениях корытообразные (троговые). В пределах равнин долины крупных рек расширяются до 5—8 км с увеличением глубины до 2—3 м (реки Ванкарем, Ионивсем, Игельхвеем). Большинство рек региона зимой промерзает до дна. Высота весенних паводков 3—5 м (на р. Чегитунь достигает 8 м), а дождевых паводков 2—2,5 м.

Климат региона морской субарктический, характеризуется повышенной относительной влажностью воздуха, пониженным испарением с поверхности суши, значительной облачностью, частыми ветрами,

а в прибрежной полосе — затяжными туманами. Среднегодовая температура воздуха в южной части территории минус 4,2—6,2°, в северной до минус 8,2°. Среднегодовое количество осадков 400—600 мм. Среднее число дней со снежным покровом 248, с метелями — 62—74. Высота снежного покрова 60—100 см. Следствием суровых климатических условий региона является сплошное развитие многолетнемерзлых пород.

В регионе преобладают тундровые ландшафты с разреженными кустарничково-травянистым и лишайниковым покровами.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Восточно-Чукотский срединный массив представляет собой сложную складчато-глыбовую структуру, в которой четко выделяются основание (фундамент), сложенное регионально метаморфизованными протерозойскими породами, и чехол, имеющий трехчленное строение. Первый структурный этаж чехла сформирован в догеосинклинальный (по отношению к Чукотской складчатой области) этап развития срединного массива и сложен породами терригенно-карбонатных формаций среднего палеозоя. Второй — представлен песчано-глинистой сероцветной формацией перми и триаса, сформированной в синеосинклинальный этап развития срединного массива. Их литологический состав сходен с одновозрастными геосинклинальными образованиями Анюйско-Чукотской складчатой области. С началом орогенного этапа развития региона (третий этаж чехла) связано формирование верхнеюрской флишоидной формации в позднемезозойском Мечигменском прогибе. Этап завершился наземными излияниями эффузивов в позднем мезозое и раннем кайнозое. К этому же времени приурочено внедрение интрузий габброидного и гранитоидного состава.

Рыхлый покров региона образован преимущественно элювиальными и склоновыми образованиями, а также морскими, ледниково-морскими, ледниковыми, водно-ледниковыми, аллювиальными и озерно-аллювиальными отложениями четвертичного возраста.

В современном структурном плане Восточно-Чукотского массива выделяются Уэленское, Сенявинское и Вельмайское поднятия, в пределах которых вскрыты породы фундамента и нижнего структурного этажа чехла, Мечигменский прогиб, выполненный мезозойскими отложениями, и наложенные позднекайнозойские впадины (рис. 26).

Метаморфические породы раннего-среднего протерозоя распространены преимущественно в Уэленском поднятии и очень ограниченно в Сенявинском и Вельмайском. В их разрезе выделяются две толщи: нижняя, сложенная гнейсами с редкими прослоями и линзами кристаллических сланцев, мраморов, амфиболитов, и верхняя, представленная различными по составу кристаллическими сланцами с прослоями амфиболитов и гнейсов, линзами мраморов и мраморизованных известняков. Мощность обеих толщ около 5000 м. Породы формации собраны в мелкие дисгармоничные складки северо-западного простирания с амплитудой до нескольких десятков метров и углами падения крыльев 15—35°, иногда достигающими 80—90°. В зоне выветривания метаморфические породы интенсивно трещиноваты до глубины 20—25 м. Трещины преимущественно крутопадающие, реже пологопадающие открытые, иногда выполнены кварцем и каль-

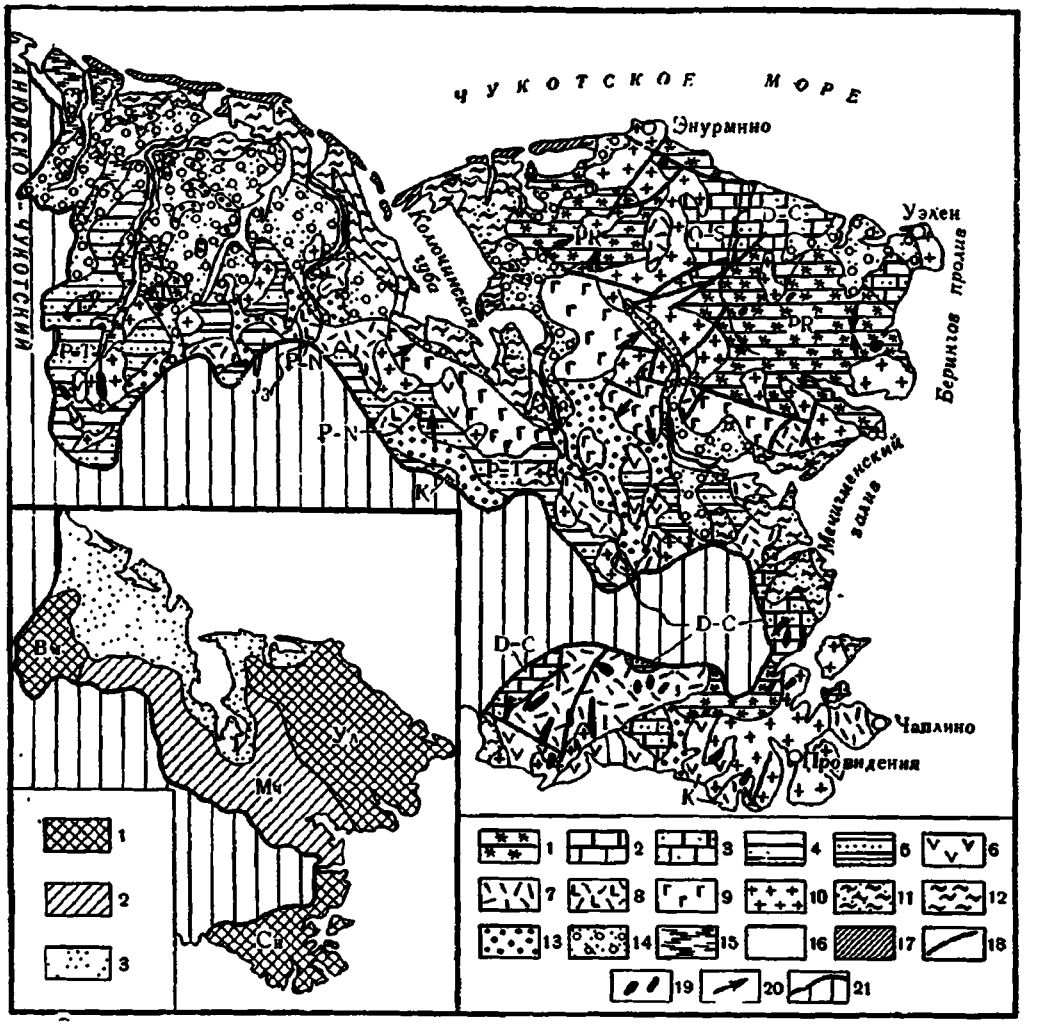


Рис. 26. Схематическая инженерно-геологическая карта Восточно-Чукотского региона.

Формации: 1 — метаморфическая (PR); 2 — карбонатная (O—S); 3 — терригенно-карбонатная (D—C); 4 — песчано-глинистая сероцветная (P—T); 5 — флишоидная (J_3); 6 — андезитовая (K); 7 — липаритовая (K); 8 — базальт-липаритовая (P—N); 9—габброидная; 10—гранитоидная. Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений: нижне-среднеплейстоценовые: 11 — ледниково-морские (gmQ_{I-II}); 12 — морские (mQ_{I-II}); верхнеплейстоценовые: 13 — ледниковые (gQ_{III}); 4 — водно-ледниковые (fQ_{III}); 15 — озерно-аллювиальные (laQ_{III}); голоценовые 16 — аллювиальные (aQ_{IV}); 17 — морские (mQ_{IV}); 18 — разрывные тектонические нарушения; 19 — наледи; 20 — участки развития солифлюкции; 21 — граница региона и сопредельные территории.

На врезке. Схема структурных элементов региона.

1 — Уэленское (Ул), Вельмайское (Вм), Сеявинское (Сн) поднятия; 2 — Мечигменский прогиб (Мч); 3 — кайнозойские впадины

цитом. Ширина закрытых трещин (прожилков кварца и кальцита) 1—5 см, открытых — от долей сантиметра до 2 см.

Гнейсы и кристаллические сланцы образуют слои и горизонты мощностью от 5 до 100 м. Они крупно- и среднезернистые, сланцеватые, плойчатые, крепкие и очень крепкие, временное сопротивление сжатию (по единичным определениям 2-го ГГУ) $1600 \cdot 10^5$ — $2000 \cdot 10^5$ Па. Амфиболиты образуют слои мощностью от 10 до 100 м, мелко- и среднезернистые, тонкоплитчатые с отчетливо выраженной

сланцеватостью или массивные, очень крепкие, временное сопротивление сжатию $2000 \cdot 10^5 - 2500 \cdot 10^5$ Па. Известняки и мрамор массивные или слоистые. Отдельность массивных разностей матрацевидная, слоистых — плитчатая. Трещины отдельности часто залечены крупнокристаллическим кальцитом. Мощность слоев известняков и мраморов в нижней толще метаморфических пород 10—50 м, в верхней — пачки карбонатных пород достигают мощности 100—300 м. Мрамор средне- и крупнозернистый. Кристаллические известняки часто микрозернистые, крепкие, временное сопротивление сжатию $1000 \cdot 10^5 - 1200 \cdot 10^5$ Па, характеризуются хорошо выраженной полосчатостью, обусловленной послойным расположением биотита. Мощность полос от 0,5 мм до 30 см.

Породы группы терригенно-карбонатных формаций ордовик-среднекаменноугольного возраста широко распространены в Уэленском и Сенявинском поднятиях. Они формируются на размытой поверхности фундамента после длительного перерыва в осадконакоплении и в условиях, близких к платформенным. Нижняя часть разреза, охватывающая отложения ордовика и силура, представлена карбонатной формацией, осадки которой накапливались в теплом неглубоком море и представлены органогенными (рифовыми) и пелитоморфными известняками, доломитами и доломитизированными известняками суммарной мощностью 1600 м. Лишь в средней части разреза находится горизонт известково-глинистых и глинистых сланцев мощностью до 100 м. Карбонатные породы смяты в крупные куполовидные и коробчатые складки северо-восточного простирания с углами падения пластов на крыльях 20—25°. Известняки большей частью массивные или грубослоистые, иногда брекчированные, крепкие и средней крепости. Доломиты слоистые, мелкозернистые крепкие.

Терригенно-карбонатная формация девонского-среднекаменноугольного возраста представляет собой толщу сложнопереслаивающихся известняков, различных сланцев, песчаников и алевролитов при мощности слоев и пачек от нескольких метров до нескольких сотен метров. В строении формации намечается цикличность осадконакопления, смена трансгрессивных и регрессивных серий осадков. Наиболее четко периоды относительных поднятий территории и накопления преимущественно песчано-глинистых осадков фиксируются в позднем девоне и среднем карбоне. В раннем и среднем девоне, а также в раннем карбоне с трансгрессиями связано формирование существенно известняковых толщ. Большую роль в самых верхах разреза (средний карбон) играют кварцево-известковистые и типично кварцевые песчаники, что явилось следствием малой тектонической активности территории в этот период. Мощность формации около 2500 м. Породы смяты в линейные складки северо-восточного простирания, осложненные складками более высоких порядков, углы падения крыльев складок 30—40° и более.

Породы описываемой группы формаций значительно метаморфизованы. Известняки часто кристаллические и мраморизованные, тонкослоистые или массивные, их физико-механические характеристики (по 4 определениям ВНИИ-I): плотность 2,62—2,83 г/см^3; объемная масса 2,6—2,8 г/см^3; водопоглощение 0,28—0,53%; коэффициент размягчения 0,63—0,77; временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $540 \cdot 10^5 - 1118 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном состоянии $418 \cdot 10^5 - 857 \cdot 10^5$ Па. Терригенные породы формации часто представлены филлитами, хлоритовыми и серицитовыми сланцами, крепкими алевролитами и аргиллитами и характеризуются (по единичным определениям

2-го ГГУ) временным сопротивлением сжатию $600 \cdot 10^5$—$1200 \cdot 10^5$ Па. Временное сопротивление сжатию кварцевых песчаников $1200 \cdot 10^5$—$1400 \cdot 10^5$ Па.

Песчано-глинистая сероцветная формация перми и триаса (верхоянский комплекс осадков) распространена на периферии Вельмайского поднятия и в западном обрамлении Мечигменского прогиба. Она сложена переслаивающимися глинистыми, часто филлитовидными сланцами и песчаниками. В верхах разреза встречаются конгломераты. Мощность формации более 2500 м. Отложения дислоцированы в линейные складки северо-западного простирания с углами падения крыльев 30—50°. Физико-механические свойства их аналогичны одновозрастным отложениям Анюйско-Чукотского региона.

Флишоидная формация поздней юры выполняет узкий Мечигменский прогиб и представлена ритмично чередующимися песчаниками и алевролитами, реже глинистыми сланцами. Мощность слоев в ритмах колеблется от 2 до 30 см. Мощность формации 600—1400 м. Породы смяты в линейно-вытянутые складки, сильно сжатые, часто опрокинутые и асимметричные, северо-западного простирания с углами падения на крыльях 30—70°. Амплитуда вторичных складок 20—30 м, часто встречаются гофрировка и многочисленные разрывы. В зоне выветривания до глубины 80—100 м породы трещиноваты, наиболее интенсивно трещиноватость выражена до 3—5 м.

Песчаники обычно мелко- и среднезернистые, массивно-слоистые, кварцевые, с карбонатно-глинистым или кварцево-серицитовым цементом. Временное сопротивление сжатию их $1200 \cdot 10^5$ Па. Алевролиты по составу и крепости близки песчаникам. Временное сопротивление сжатию глинистых сланцев до $600 \cdot 10^5$ Па, нормативное давление на них в зоне интенсивного выветривания до $6 \cdot 10^5$ — $7 \cdot 10^5$ Па.

Андезитовая и липаритовая формации мелового возраста и контрастная базальт-липаритовая формация палеоген — неогена распространены в отдельных разобщенных депрессиях. Породы андезитовой формации распространены преимущественно в юго-западной части региона, где слагают нижнюю часть разреза вулканогенных пород (ранний мел) и представлены сложнопереслаивающимися андезитовыми и дацитовыми порфиритами, их лаво- и туфобрекчиями, туфами, содержащими прослои туфоконгломератов и алевролитов. В основании разреза лежит горизонт базальных конгломератов мощностью до 100 м. Мощность формации около 1000 м.

Породы липаритовой формации на северо-западе региона слагают весь разрез меловых образований, на остальной территории располагаются лишь в верхней половине вулканогенной толщи (поздний мел). Формация представлена липаритами, их туфами и туфобрекчиями общей мощностью 400—800 м.

Породы контрастной базальт-липаритовой формации развиты в регионе крайне ограниченно. Они образуют отдельные небольшие по площади покровы преимущественно вдоль западного побережья Колючинской губы, где слагают гряды, хорошо выделяющиеся на фоне равнинного рельефа. Покровы палеогеновых вулканогенных пород мощностью до 300 м представлены лавами дацитового и андезитового состава. Они слабо дислоцированы с образованием пологих складок с углами падения крыльев 10—15°. В составе неогеновых эффузивных образований преобладают липаритовые и дацитовые лавы, перемежающиеся с пирокластическими производными. Отличительной чертой неогеновых покровов является их горизонтальное залегание и наличие стеклова-

тых и полустекловатых лав, мощности которых достигают 20—45 м. Полная мощность покровов 80—250 м. Породы базальт-липаритовой формации кайнотипного облика, массивного сложения со столбчатой отдельностью. Подробная характеристика вулканогенных пород дана при описании Охотско-Чукотского региона.

Породы габброидной и гранитоидной формаций относительно широко распространены во всех структурных элементах Восточно-Чукотского срединного массива.

Габброидные породы раннемелового возраста развиты в Мечигменском прогибе. Интрузивный массив (Колючинский) площадью около 900 км^2 сложен кварцевым габбро и габбро-диабазами, массивными крепкими с мелко- и среднезернистой структурой. Объемная масса габбро 2,55 г/см^3, габбро-диабазов — 2,53 г/см^3; временное сопротивление сжатию от $920 \cdot 10^5$ до $4570 \cdot 10^5$ Па (по единичным определениям 2-го ГГУ).

Гранитоидные интрузивные породы мелового возраста образуют как крупные массивы со сложным строением и пестрым петрографическим составом, так и небольшие тела простого строения. Наибольшим распространением пользуются биотит-роговообманковые граниты и гранодиориты. На востоке Уэлсиского поднятия интрузивный массив (Дежневский) сложен щелочными породами.

Контакты интрузивных массивов с вмещающими породами часто пологие, извилистые, сопровождаются зонами измененных пород. Экзоконтактовые изменения наиболее четко проявляются в известняках и мраморах, где образуются различные по составу скарны (гранит-пироксеновые, пироксеновые). Песчано-сланцевые образования палеозоя превращаются в ороговикованные породы, а верхнеюрские флишоидные породы — в пятнистые роговики. Все измененные породы отличаются повышенной крепостью и трещиноватостью.

Граниты и диориты в зоне выветривания характеризуются большой трещиноватостью. По геофизическим данным, в районе пос. Уреликн мощность зоны поверхностной трещиноватости 120—140 м, сильнотрещиноватые породы располагаются до глубины 20—25 м. В самой верхней части зоны выветривания под элювием развиты интенсивнотрещиноватые породы, часто разборные. Системой беспорядочно ориентированных трещин гранитоиды разбиты на блоки размером в среднем $80 \times 30 \times 30$ см. Ширина трещин 1—2 см, они заполнены супесью, дресвой и льдом. Порфировидные разности лейкократовых гранитов при выветривании иногда разрушены до состояния дресвы с сохранением структуры элементов первичной породы (структурный элювий). Местами на гранитах сохранилась древняя кора выветривания мощностью до 4 м, представленная светло-серой глиной с включением обломков.

Аллювиальные отложения раннего плейстоцена, слагающие всхолмленную поверхность высотой до 80—140 м вдоль берега лагуны Нутауге и р. Вашкарем, представлены песками, местами с галькой и гравием (до 10—15%) мощностью до 50 м и более. Пески от мелко- до крупнозернистых, местами переходят в супеси. Нижние части разреза сложены более тонкими песками, кверху крупность зерен увеличивается. Объемная масса песков 1,6 г/см^3 (по данным единичных анализов). Нормативное давление на талую породу до $4 \cdot 10^5$ Па, на мерзлую — до $6 \cdot 10^5$ Па.

Ледниково-морские нижне-среднеплейстоценовые отложения слагают основания III и IV морских террас. Они представлены глинами

и суглинками оскольчатого типа, содержащими линзы и прослои песка, с различным (от 10 до 50%) количеством грубообломочного материала (валунов, гальки, гравия), что придает отложениям моренноподобный облик. Мощность их в уступах IV террасы 10—40 м, в уступах III достигает 60 м. Они обычно перекрыты с поверхности морскими верхнеплейстоценовыми отложениями, но часто выходят и на поверхность. Суглинки по всему разрезу характеризуются постоянством гранулометрического состава. Преобладают фракции алеврита и мелкозернистого песка с небольшим колебанием медианного диаметра частиц, что отражает изменения подвижности среды во время осадконакопления. Сортировка отложений в целом плохая (коэффициент сортировки более 4,5), сортировка суглинков преимущественно средняя (коэффициент сортировки менее 4,46). Неоднородность состава, плохая сортировка и значительные колебания медианного диаметра частиц для отложений в целом указывают на гетерогенный ледниково-морской генезис (Гасанов, 1969).

Отложения характеризуются значительной льдистостью, шлирово-сетчатыми криотекстурами, включают в себя линзы и клинья повторно-жильных льдов, в связи с чем при оттаивании обладают просадочными свойствами и текучей консистенцией. Нормативное давление на мерзлые грунты по данным изысканий на строительных площадках в Провиденском районе не превышает $2 \cdot 10^5$ Па.

Морские плейстоценовые отложения, слагающие II и верхние части III и IV морских террас, представлены серией регрессивных осадков, отлагавшихся в прибрежно-морских условиях (верхняя часть сублиторали). Реже отлагались фации опресненных лагун и сублиторальные фации открытого моря.

Нижнеплейстоценовые морские пески, супеси и галечники, слагающие верхние слои IV (пинакульской) террасы, прослеживаются лишь на северном берегу залива Лаврентия. В супесях преобладают фракции мелкого алеврита (53,3%) и мелкозернистого песка (27,5%). Чередование этих двух фракций создает слоистость супесей. Медианный диаметр соответствует фракции мелкого алеврита. Характерна низкая сортировка материала (коэффициент сортировки 3,86). В песках преобладает мелкая фракция (92—96%), что обусловливает высокую сортировку материала (коэффициент сортировки 1,2—1,3). Пески горизонтально-слоистые (чередование прослоев мелкого и алевритового песка). Отложениям свойственны низкая общая льдистость и преимущественно массивные криогенные текстуры. В супесях иногда развиты тонкошлировые (до 1 мм) криотекстуры.

Верхнеплейстоценовые морские отложения II террасы, сформированные в результате валькатленской трансгрессии (Петров, 1960), представлены хорошо сортированными верхнесублиторальными песками (в среднем коэффициент сортировки 2) с прослоями галечников. Обычно в песках четко выделяется одна фракция, соответствующая мелкозернистому песку или крупному алеврит у. В нижней части разрезов часто встречаются слои базального галечника. Вверх по разрезу наблюдается уменьшение обломков до крупнозернистого песка и гравия. Отложения характеризуются малой льдистостью с массивным типом криотекстур. Нередко на контактах песков и галечников прослеживаются пласты и линзы инъекционного льда, вытаивание которого может привести к значительным неравномерным просадкам. Галечники, как правило, малольдистые (льдистость 12—18%), слабо просадочные (удельная осадка 1—5 см). Нормативное давление на мерзлые галечники $4 \cdot 10^5$ Па, на талые — не более $3 \cdot 10^5$ Па.

В районе лагуны Нескан-Пильхин и на побережье Колючинской губы, заливов Ионивеемкуэм и Куэткуэм в основании II террасы вскрываются сублиторальные горизонтально-слоистые глины и суглинки видимой мощностью до 10—15 м. Льдистость суглинков 30—35%; пористость 24—49%; число пластичности 15. Талые породы подвержены оплыванию. Нормативное давление на мерзлые породы до $4 \cdot 10^5$ Па.

Ледниковые верхнеплейстоценовые отложения широко распространены на Ванкаремской и Колючинско-Мичигменской низменностях, где они слагают конечно-моренные гряды и холмисто-моренные междуречья. Гранулометрический состав ледниковых отложений, представленных несортированными валунными суглинками, крайне неоднороден. Сортировка материала, даже без учета валунов и гальки, плохая (коэффициент сортировки 3,54—6,6).

В карах и в верхних частях днищ троговых долин в сильно расчлененных горах альпийского типа (хр. Тенчаный, бухта Провидения) сохранились небольшие по площади конечно-моренные валы мощностью 10—60 м, сложенные суглинками, супесями и песками, содержащими от 10 до 60% грубообломочного материала (гальки, гравия и валунов). Для ледниковых отложений характерна неоднородная льдистость и слабая выдержанность криогенных текстур. Льдистость ледниковых отложений в районе пос. Лаврентия (данные Дальстройпроекта) колеблется от 12,7 до 142,5% (в среднем 30—40%). В верхней части разреза морены до глубины 3—5 м кроме ледяных прожилков, участвующих в строении тонкошлировых криотекстур, встречаются и повторножильные льды. Высокая льдистость ледниковых отложений может приводить при оттаивании к неравномерным и значительным осадкам.

Водно-ледниковые верхнеплейстоценовые отложения слагают холмистые равнины и террасовидные поверхности. Они представлены разнозернистыми песками с гравием и галькой, реже галечниками. Пески местами слоистые (переслаивание мелкозернистых с крупнозернистыми, гравелистыми или илистыми). Мощность прослоев от 0,2 до 1 м. Общая мощность отложений до 20, реже достигает 40 м. Криогенные текстуры песков преимущественно массивные, галечников — пленочно- и порово-массивные. Льдистость галечников и песков невелика и обычно увеличивается вниз по разрезу. В инженерно-геологическом отношении они не изучены.

Озерно-ледниковые верхнеплейстоценовые отложения развиты преимущественно в пределах Ванкаремской низменности, где представлены ленточными глинами, суглинками, супесями и песками. Толщина песчанистых лент 2—5 мм, глинистых — 1—2, редко до 3—4 мм. С повышением абсолютной отметки залегания отложений в них возрастают размеры фракций и толщина годичных лент. Сортировка материала различная (коэффициент сортировки 1,9—5). Видимая мощность отложений 3—8 м. Они характеризуются наибольшей льдистостью (до 150%) из всего комплекса ледниковых образований. Им свойственны большое количество ледяных включений, широкое развитие шлировых криотекстур и неравномерная просадка при оттаивании под нагрузкой. Глинистые разности при оттаивании подвержены оплыванию.

Озерно-аллювиальные верхнеплейстоценовые отложения, развитые небольшими локальными участками вдоль отдельных долин рек, не изучены.

Аллювиальные голоценовые отложения, слагающие I террасу и пойму, развиты в долинах всех рек региона. Пойменная фация их представлена песками, супесями, реже суглинками; русловая фация —

грубослоистыми галечниками и гравелистыми песками. Мощность аллювия в долинах крупных рек до 10—15 м, в мелких — не более 5—7 м. Соотношение пойменной и русловой фаций в верхнем и среднем течении рек примерно равное, в низовьях преобладает пойменная фация. Последняя часто бывает перекрыта слоем торфа мощностью до 3 м. Встречаются погребенные линзы иловатых песков, илов и торфяников (старичная фация) мощностью до 1,5—2 м. Наиболее высокая льдистость аллювия свойственна пойменным и старичным фациям, сложенным тонкодисперсными грунтами. Она повышается также за счет повторно-жильных льдов. Сингенетические ледяные жилы шириной до 0,5 м (поверху) развиваются лишь при мощности пойменного горизонта более 1—1,5 м. Песчано-гравийно-галечниковым отложениям русловой фации свойственны массивные криотекстуры. С уменьшением размера частиц грунта возрастает объем текстурообразующего льда. Общая льдистость этих отложений не превышает 40—50% (в среднем 20—25%). Изредка в аллювиальных отложениях встречаются линзы и пласты сезонных и многолетних инъекционных льдов.

Морские голоценовые отложения, слагающие I морскую террасу, косы и пляжи, представлены на побережье широко открытых заливов хорошо сортированными (коэффициент сортировки 1—2) осадками, в составе которых преобладает одна из песчаных фракций, а пылеватые и глинистые фракции находятся в подчинении или полностью отсутствуют. На побережье глубоко вдающихся заливов и лагун, отчлененных косами, терраса сложена горизонтально-слоистыми суглинками и супесями со значительной примесью органического вещества. Осадки многофракционные: наряду с крупнозернистым песком и гравием в них много алеврита и пелита, из-за чего их сортировка средняя и плохая ($S_0 > 5{,}3$). Формирование тонкодисперсных отложений полузамкнутых лагун и заливов происходило в верхах сублиторали при слабой подвижности водной среды. Внутренние части кос, отчленяющих лагуны, сложены сублиторальными супесями, мелкозернистыми песками и суглинками, переходящими вверх по разрезу в прибрежно-морские пески, гравийники и галечники. Большинство поселков региона (Ванкарем, Нешкан, Уэлен и др.) расположено на морских косах, сложенных песчано-гравийно-галечниковым материалом. Обычно современные морские отложения находятся в многолетнемерзлом состоянии, но встречаются участки с талыми грунтами.

Мелкозернистые пески и супеси I террасы (восточнее пос. Нешкан) имеют льдистость 18—30% и коэффициент пористости 0,5—0,83 (данные Дальстройпроекта). Сложение пород от плотного до распученного льдом. При оттаивании под нагрузкой возможна осадка до 7 см/м. Илистые суглинки с гнездами торфа, линзами и прослоями льда характеризуются высокой и неоднородной льдистостью (от 23 до 139%). Объемная масса суглинков 1,22—1,7 г/см^3 (скелета грунта 0,56—1,38 г/см^3); пористость 48—79%; коэффициент пористости 0,92—1,37. Грунты сильно распучены льдом и при оттаивании под нагрузкой могут дать сильную неравномерную осадку (до 30—50 см/м). Нормативное давление на глубине 1,6 м при температуре минус 2,1° составляет $2{,}5 \cdot 10^5$ Па. Физические свойства отложений морской косы в пос. Лаврентия приведены в табл. 18 (данные Дальстройпроекта). Нормативное давление на грунты в зависимости от глубины заложения фундаментов составляет $1{,}5 \cdot 10^5 — 3 \cdot 10^5$ Па. В пос. Лорино морская коса сложена льдонасыщенными песками, чередующимися с гравийно-галечными грунтами. Нормативное давление на песчаные грунты при строительстве не более $2 \cdot 10^5$ Па.

Таблица 18

Физические свойства современных морских отложений

Глубина отбора, м	Гранулометрический состав, %			Естественная влажность, %	Объемная масса, г/см³		Пористость, %	Удельная осадка, см/м
	галька	гравий	песок		влажного грунта	скелета грунта		
				Мерзлые грунты				
2	55	12	33	13,7	2,13	1,87	29,4	3,3— 6,1
2	55,6	26,8	17,6	14,7	2,05	1,79	32,4	7,4—10,1
1,5	54	25,8	20,2	15,1	2,06	1,79	32,4	7,4—10,1
2,5	57	25,7	17,3	11,8	2,1	1,87	29,4	3,3— 6,1
				Талые грунты				
1	53,4	35,1	11,5	19,1	—	—	—	—

В верхнем ярусе гор широко развиты **элювиальные и осыпные образования голоцена**, в нижнем ярусе — **делювиально-солифлюкционные.** Мощность элювиальных и склоновых образоваиий 3 м. Представлены они глыбами, щебнем и дресвой, находящимися в различных процентных соотношениях с суглинками и супесями. Ниже слоя сезонного протаивания отложения распучены льдом. Наибольшей и неравномерной льдонасыщенностью (в среднем 20—30%) характеризуются делювиально-солифлюкционные отложения, которые при оттаивании обладают просадочными и тиксотропными свойствами. В деятельном слое они подвержены солифлюкционному течению. В качестве оснований под сооружения они мало пригодны.

Крупнообломочные склоновые отложения содержат 15—20% суглинисто-супесчаного заполнителя (пос. Провидения и Урелики). Суммариая влажиость заполнителя 6,2—27% (средиее значеиие 13,4%), пористость 21,1—47,6% (среднее зиачение 31,7%). Нормативное давлепие на мерзлые грунты не болсе 2—2,5 · 10^5 Па, осадка при оттаиваини под нагрузкой иеравномерная (от 2 до 13 см/м).

Мерзлотно-гидрогеологические условия

Регион расположен в зоне развития сплошной многолетией мерзлоты. Мощность миоголетиемерзлых пород увеличивается с понижением температуры от морского побережья в глубь материка. Минимальная мощность многолетнемерзлых пород на морских косах в пос. Уэлен не превышает 5—6 м, а в посслках Провидения и Урсликн в непосредствениой близости от берега бухты Комсомольской мощиость миоголетней мерзлоты 20—70 м и увелнчнвается при удалении от бухты до 100—120 м. В центральных районах Чукотского полуострова мощиость многолетнемерзлых пород в долииах рек 100—150 м, а на водоразделах 200—300 м и более. В прибрежных районах Чукотки мерзлота вялая, температура пород на глубине нулевых годовых колебаний 0,8—1,8°, во внутренних районах полуострова она снижается до минус 3—8°. Мощность деятельного слоя в зависимости от растительного покрова и литологии грунтов колеблется от 0,2 до 3 м, а в крупноскелетных грунтах иногда достигает 4,5 м. Сплошность мно-

голетнемерзлых пород прерывается сквозными и надмерзлотными таликами. Сквозные талики приурочены к зонам некоторых разрывных тектонических нарушений и долинам наиболее крупных рек (Амгуэма и, возможно, Чегутунь). Граница таликовых зон в долинах рек не выходит за пределы поймы. В районе пос. Уэлен и в долине р. Горячей на месте выходов термальных источников геофизическими работами установлена сквозная талая зона по долине протяженностью 800 м. Ниже по долине реки сквозной талик переходит в надмерзлотный мощностью 10—15 м. Аналогичные талики прослеживаются также в районе выходов Чаплинских термальных источников.

Надмерзлотные талики имеют значительно большее распространение. Они располагаются в руслах и поймах рек и ручьев. Мощность таликовой зоны летом 5—20 м. Существование надмерзлотных таликов возможно под непромерзающими озерами и конусами выноса или осыпания, где мощность рыхлых отложений превышает глубину сезонного промерзания. В регионе распространены надмерзлотные, таликовые и подмерзлотные воды.

Надмерзлотные воды развиты в теплое время года практически повсеместно в сезонноталом слое поверхностных отложений различного генезиса. Функционируют они в течение 5 мес. Мощность водовмещающих пород 0,5—2,5 м с незначительной водообильностью. Режим надмерзлотных вод непостоянный, зависит от выпадающих осадков, интенсивности таяния снега и льдосодержащих пород. Воды пресные гидрокарбонатные натриевые или кальциевые, обладают общекислотной, выщелачивающей, реже углекислотной агрессивностью. Воды подрусловых таликов приурочены к современным аллювиальным отложениям и трещиноватым коренным породам зоны выветривания. Мощность водовмещающих пород в долине руч. Факторного (пос. Урелики) достигает 15—25 м. Дебит скважины летом 4—10 л/с при понижении уровня на 2 м, зимой 1—1,5 л/с при понижении 2,5—4 м. Воды подозерных таликов и конусов выноса и осыпания практически не изучены. Мощность водовмещающих пород в таликах конусов выноса достигает 10—18 м, глубина до воды летом 3—8 м, зимой — 13—16 м (Стремяков, 1963). Водоупором служат мерзлые скальные породы или глинистая кора выветривания.

Подмерзлотные воды приурочены к зонам тектонической и подмерзлотной трещиноватости скальных пород. В пос. Урелики они встречены на глубине 75—140 м. Воды напорные, величина напора до 90 м. Их уровень устанавливается на различных абсолютных отметках. Режим относительно постоянный, температура воды в течение года около + 1°. Преобладают гидрокарбонатно-хлоридные воды с минерализацией до 1 г/л, в прибрежной полосе шириной до 5 км возможно наличие высокоминерализованных вод. Агрессивность подмерзлотных вод общекислотная и выщелачивающая.

В регионе обнаружено 12 термоминеральных источников, приуроченных к зонам тектонических разломов в гранитоидных интрузиях.

Современные геологические процессы и явления

Одним из наиболее распространенных процессов является солифлюкция, интенсивно проявляющаяся на склонах низких сглаженных гор, особенно на участках, сложенных метаморфическими породами, порфировидными крупнозернистыми гранитоидами или габброидами.

При промерзании водонасыщенного сезоннопротаивающего слоя поверхностных существенно мелкоземистых отложений происходит пучение грунтов с образованием медальонного микрорельефа на морских и речных террасах и каменных многоугольников на выположенных водоразделах, седловинах и нагорных террасах. Бугры пучения встречаются редко на участках приморских равнин и в верховьях ручьев, высота их от 0,5 до 5 м, редко достигает 10—12 м.

В равнинной части региона в ледниковых, реже в водно-ледниковых отложениях и на морских террасах широко распространен термокарст, проявляющийся в образовании озер, воронок и блюдцеобразных понижений. По берегам озер часто наблюдаются оплывины, вызванные протаиванием льда и льдистых грунтов.

Широко распространенным процессом на низменных участках региона, в долинах рек и на плоских водоразделах является заболачивание, связанное с близким залеганием многолетнемерзлых водоупорных пород и избыточной влажностью воздуха.

В горных районах Чукотки интенсивно проявляется морозное выветривание. Оно способствует глубокому проникновению поверхностной трещиноватости, особенно в кристаллических породах (метаморфических и интрузивных), образованию глыбовых и щебнистых россыпей, осыпей, каменных потоков, курумов. Отсутствие на горных склонах растительного и почвенного покрова увеличивает эффективность протекания этого процесса.

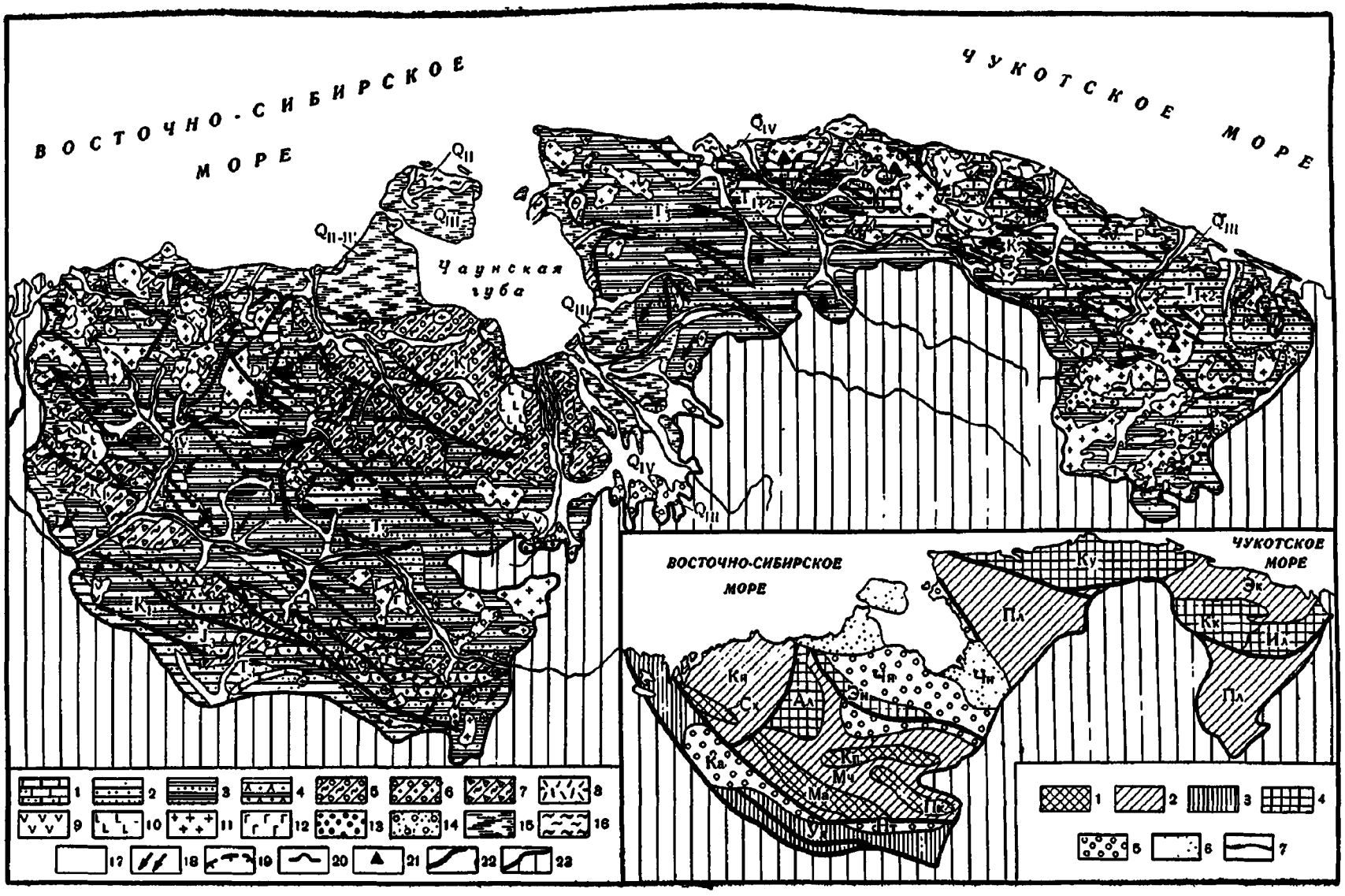
В долинах ручьев и небольших рек, преимущественно в их верховьях, развиты наледи, главным образом сезонные, питающиеся водами подрусловых потоков или подмерзлотными минеральными водами. Большинство наледей площадью 0,1—0,2 км², лишь в долинах рек Ионивеем, Утаатап, Гэтлянгэн и Марич площадь наледей достигает 2—7 км². Мощность льда 0,3—2 м.

АНЮЙСКО-ЧУКОТСКИЙ РЕГИОН

Регион, охватывающий большую часть Чукотской складчатой системы, протягивается широкой полосой вдоль побережья Восточно-Сибирского и Чукотского морей от устья р. Колымы на западе до устья р. Амгуемы на востоке.

Рельеф территории преимущественно горный. Большую ее часть занимают Южный Анюйский, Северный Анюйский и Чукотский (Анадырский) хребты, состоящие из низких и средневысотных гор и гряд. Преобладающие абсолютные высоты низких гор 400—800 м (относительные превышения 200—400 м), средневысотных гор соответственно 1000—1800 м (500—900 м). Максимальные отметки нагорий достигают 1810 и 1853 м. Горы окаймлены полосой крупнохолмистых предгорий шириной 5—50 км с абсолютными высотами 100—300 м. Вдоль побережья узкой полосой 10—70 км, редко до 125 км протягиваются прибрежные низменности: Раучуанская, Чаунская, Валькарайская и Ванкаремская (западная часть). Абсолютные высоты их увеличиваются с удалением от моря от 20 до 60 м (в Чаунской низменности до 120 м). Относительные высоты в среднем 10—15 м (редко до 50 м). Большую часть низменностей (около 80%) занимают плоские озерно-аллювиальные равнины, со слабыми уклонами (0,5—1°) в сторону моря.

Морское побережье слабо изрезано. Исключение составляет глубоко вдающаяся в сушу Чаунская губа. Преобладают низкие отлогие или обрывистые берега высотой до 30 м, реже скалистые обрывистые берега


ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ МОРЕ
ЧУКОТСКОЕ МОРЕ
Чаунская губа
ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ МОРЕ
ЧУКОТСКОЕ МОРЕ

высотой до 200 м. Морские террасы высотой 2—3 м, 5—8 и 10—15 м встречаются локально. У наиболее крупных рек Мал. Анюй, Раучуа, Чауи и других хорошо выработанные террасированные долины шириной от 0,5 до 15 км.

Регион располагается в зоне арктической пустыни и арктической тундры, с умеренно континентальным и морским типом климата, которым свойственно избыточное увлажнение, холодное лето, снежная зима. Среднегодовая температура воздуха отрицательная и колеблется от —9,7° до —14°. Минимальная температура на побережье минус 41—49°, в глубине материка минус 52—63°. Максимальная июльская температура плюс 24—31°. Количество годовых осадков 129—340 мм. Среднегодовая скорость ветра на побережье 5,6—6,1 м/с (на м. Шелагский до 9,1 м/с), в глубине материка — до 2,1—3,6 м/с; максимальная скорость достигает 34—45 м/с; максимальный скоростной напор 72—127 кг/м^2. Регион характеризуется сплошным развитием многолетней мерзлоты.

Ландшафтные особенности территории определяются ее высокоширотным положением и суровым климатом. В регионе развиты аккумулятивные тундровые равнины различного генезиса со скудным растительным покровом, а для гор характерен тундровый спектр высотной поясности. Редкостойные угнетенные леса даурской лиственницы встречаются лишь по долинам рек Южного Анюйского хребта.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Чукотская складчатая система характеризуется складчато-глыбовым строением. Ее тектонические элементы протягиваются на короткие расстояния и часто ограничены разломами. Складчатые формы сравнительно сложного внутреннего строения. В пределах региона выделяются три складчатые зоны: Апюйская, Южно-Анюйская и Чаунская, разделенные крупным позднегеосинклинальным Раучуанским прогибом (рис. 27).

Рис. 27. Схематическая инженерно-геологическая карта Анюйско-Чукотского региона. Формации: 1 — карбонатно-терригенная (D_2, D_{2-3}, C_1); 2 — песчано-глинистая серо-цветная (P, T_{1-2}, T_3); 3 — флишоидная (T_3, K_1); 4 — спилито-кремнисто-песчано-глинистая (J_3); молассовые: 5 — терригенная (J_3, K_1); 6 — континентальная терригенная (K_1); 7 — вулканогенно-терригенная (K_2); 8 — дацито-липаритовая (K_2); 9 — андезитовая (K_2); 10 — базальтовая (?); 11 — гранитоидная (K); 12 — габброидная (K). Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений: верхнеплейстоценовые: 13 — ледниковые (gQ_{III}); 14 — водно-ледниковые (fQ_{III}); 15 — озерно-аллювиальные (laQ_{III}); голоценовые: 16 — морские (mQ_{IV}); 17 — аллювиальные (aQ_{IV}). Физико-геологические явления: 18 — солифлюкция; 19 — термокарст; 20 — булгунняхи (гидролакколиты); 21 — курумы; 22 — разрывные тектонические нарушения; 23 — граница региона и сопредельные территории.

IIа врезке. Схема структурных элементов региона.

1 — антиклинории, антиклинальные зоны, горст-антиклинории, брахиантиклинории; 2 — синклинории; 3 — шовная зона; 4 — поднятия; 5 — прогибы и впадины позднего этапа развития; 6 — прогибы и впадины, выполненные четвертичными отложениями; 7 — зоны разломов, главные разломы.

Основные структуры. Апюйская складчатая зона: Малоанюйский антиклинорий (Ма); Сухарнинский горст-антиклинорий (Сх); Кэпэрвеемский антиклинорий (Кп); Паукгуваамский антиклинорий (Пк); Алярмаутское поднятие (Ал); Мачвамский синклинорий (Мч); Кейнгувеемский синклинорий (Кн). Южно-Анюйская складчатая зона: Уямкандинское поднятие (Уя); Нутеснинская впадина (Нт); Камешковская впадина (Ка). Чаунская складчатая зона: Куульское поднятие (Ку); Куэквуньское поднятие (Кк); Иультинское поднятие (Ил); Экватанский синклинорий (Эк); Паляваамская синклинальная зона (IIл). Раучуанский прогиб: Эльвеисйское поднятие (Эп); Чаунская впадина (Чн)

В истории развития региона выделяются четыре крупных этапа: среднепалеозойский, пермский — триасовый, позднеюрский — раннемеловой и кайнозойский.

С первым этапом связано образование карбонатно-терригенной формации, обнажающейся в горстовых поднятиях Анюйской и Чаунской складчатых зон. Второй этап отвечает основной геосинклинальной стадии развития региона и характеризуется накоплением мощных морских песчано-глинистых отложений группы терригенных формаций, проявлением основного вулканизма в раннем триасе и внедрением пластовых и секущих интрузий габброидов.

Позднеюрский — раннемеловой этап отвечает заключительной орогенной стадии геосинклинального развития и характеризуется формированием во вновь образованных межгорных впадинах и прогибах пород группы молассовых формаций осадочного и вулканогенно-осадочного состава. С усилением тектонической деятельности в этот период связано образование пород вулканогенных и интрузивных формаций.

В этот же этап в юго-восточной части Анюйской складчатой зоны формируется Южно-Анюйский прогиб, который можно считать самостоятельной геосинклиналью с кратковременным периодом существования (Сеславинский, 1970). В поздней юре прогиб заполняется породами спилито-кремнисто-песчано-глинистой формации, в раннем мелу — образованиями флишоидной формации.

С кайнозойским этапом развития связано формирование современного рельефа, накопление преимущественно рыхлых отложений и лишь на незначительных по площади участках — излияния базальтов.

В раннем кайнозое (палеоген, неоген) на территории региона были континентальные условия и действовали процессы денудации. Осадков этого времени практически не сохранилось. К палеогену условно относятся эффузивные образования, распространенные на Анюйско-Раучуанском водоразделе. В течение плейстоцена море неоднократно проникало в пределы впадин. Морские отложения верхнего плейстоцена слагают II морскую террасу. Во вторую половину позднеплейстоценового времени, в связи с похолоданием климата, широкое распространение получило горно-долинное оледенение, следы которого хорошо сохранились в горных районах. В пределах прибрежных низменностей, в суровых перигляциальных условиях происходит аккумуляция мощных толщ озерно-аллювиальных отложений. К этому же времени, по мнению А. А. Калинина (1960), относится образование переуглубленных (каньонообразных) долин рек Раучуа, Гремучая, выполненных аллювиальными осадками, которые вскрываются также в основании о. Айон. В конце позднеплейстоценового времени наступило новое похолодание, в результате которого в наиболее возвышенных местах возникло незначительное по размерам каровое оледенение. Следы оледенения отмечаются на абсолютных высотах 1600—1800 м.

Начало голоценового времени характеризовалось постледниковой трансгрессией (Каплин и др., 1968). Затопление и разрушение обширной озерно-аллювиальной равнины, занимающей значительную часть шельфа, привели побережье к современному облику. В первую половину голоцена (послеледниковый климатический оптимум) происходит формирование осадков I аллювиальной и сопряженной с ней I морской террас. В современное время (поздний голоцен) формируются отложения пойм, морских кос и пляжей, озерно-болотные, склоновые и элювиальные образования.

Мощность четвертичных отложений во впадинах достигает 70—120 м, в низовьях р. Амгуемы — 90, в низовьях р. Рывеем — около 30, в устье р. Пегтымель — около 50 м.

Карбонатно-терригенная формация девонского и раннекаменноугольного возраста обнажается в Алярмаутском, Куульском, Куэквуньском и Иультинском поднятиях (см. рис. 27). Представлена переслаивающимися песчаниками, филлитами, глинистыми и кристаллическими сланцами, алевролитами с пластами и линзами мраморизованных известняков, мраморов и кварцитов, чаще приуроченных к верхам разреза. Характер переслаивания разнообразен, обычно в толще преобладает одна или две литологические разности. Мощность толщ однообразного переслаивания от 150 до 1000 м, а отдельных прослоев—0,05—10 м, линз известняков—70—100 м. Общая мощность формации 1500 м. Породы собраны в линейные складки с углами падения пород на крыльях 20—40°, редко 60° или слагают моноклинально падающие толщи, разбиты серией разрывных нарушений.

Коэффициент крепости филлитов, сланцев и алевролитов 2—6, известняков и мраморов — 5—8, песчаников — 6—9, кристаллических сланцев и кварцитов — 15—20. Временное сопротивление сжатию сланцев, филлитов, алевролитов и известняков $600 \cdot 10^5$—$1200 \cdot 10^5$ Па, мраморов — $1000 \cdot 10^5$—$1200 \cdot 10^5$, песчаников — $1000 \cdot 10^5$—$1600 \cdot 10^5$ Па.

В массиве породы трещиноватые, на 1 м^2 обычно приходится от 5 до 30 трещин шириной 0,2—3 см, трещины открытые или заполненные льдом и льдистым мелкоземом. Наиболее интенсивно трещиноватость проявляется до глубины 3—7 м. Повышенная трещиноватость пород—в сводовых зонах крутых складок и в зонах дробления. Интенсивность ее здесь возрастает в 3—5 раз. Прочностные свойства пород в зонах трещиноватости значительно снижаются. Обратная картина наблюдается в приконтактовой зоне осадочных пород с прорывающими их интрузиями: за счет глубокой метаморфизации они превращаются в кристаллические сланцы, роговики с временным сопротивлением сжатию до $2000 \cdot 10^5$ Па. Нормативное давление на глинистые сланцы и филлиты в верхней трещиноватой зоне следует принимать не более $5 \cdot 10^5$ Па.

Группу терригенных формаций пермско-триасового возраста образуют сероцветная и флишоидная формации, представленные толщей переслаивающихся мелко- и среднезернистых преимущественно полимиктовых песчаников, филлитизированных глинистых, углисто-глинистых, песчано-глинистых, кремнисто-глинистых, кремнисто-хлоритовых сланцев и алевролитов. Реже встречаются песчаники граувакковые, олигомиктовые и туфогенные.

Песчано-глинистая сероцветная формация пермско-триасового возраста выходит на поверхность в осевых частях антиклинориев и в краевых частях поднятий Анюйской и Чаунской складчатых зон. Для многих районов отмечается деление формации на две толщи: нижнюю — песчано-сланцевую, содержащую послойные тела габбро-диабазов, и верхнюю — песчаниковую с подчиненным количеством тонкослоистых алевролитов и глинистых сланцев. Мощность толщ от 300 до 1400 м, отдельных слоев от 0,2 до 200 м. Общая мощность от 600 до 2000 м.

Флишоидная формация верхнего триаса слагает синклинории и крылья антиклинориев Чукотской складчатой системы и распространена наиболее широко. Ее накопление происходило в условиях самой обширной трансгрессии моря в период зрелой стадии развития Чукотской геосинклинали. Формация отличается ритмичностью чередования составляющих ее литологических разностей с преобладанием песчанистых или

глинистых элементов ритма. Мощность отдельных прослоев от нескольких сантиметров до 10 м. Общая мощность 3000 м.

Породы терригенных формаций интенсивно дислоцированы. В антиклинориях они смяты в изоклинальные, опрокинутые и лежачие складки. В сланцевых частях разреза крылья крупных складок осложнены плойчатостью и складками волочения, в песчаниковых частях разреза преобладают крутые асимметричные, наклонные и реже прямые складки. Складчатые структуры осложнены многочисленными разрывными нарушениями.

В массиве до глубины 20—50 м породы трещиноватые, наибольшая трещиноватость прослеживается до глубины 5—7 м, в зонах разломов она распространяется до 100 м и более.

Трещины преимущественно северо-западного и северо-восточного направления, углы падения обычно колеблются в пределах 30—90°, иногда 10—20°. Ширина трещин от долей миллиметра до 5 мм. Более крупные трещины приурочены к песчаникам. Выполнены они льдистой супесью, суглинком, льдом или пустые. В песчаниково-сланцевых породах количество трещин колеблется от 15 до 35. Коэффициент трещинной пустотности в трещиноватой зоне до глубины 3—7 м (пос. Билибино) в глинистых сланцах составляет 10—20%, реже достигает 25—30, а в песчаниках 5—15, реже до 20%. С глубиной коэффициент трещинной пустотности уменьшается: в глинистых сланцах на глубине 3—30 м постепенно с 10 до 3%, а в песчаниках с глубины 8—10 м наблюдается резкое уменьшение трещиноватости до 5%. По геофизическим данным и результатам бурения глубже 30 м трещиноватость пород небольшая, а резкое увеличение коэффициента трещиноватости с глубиной отмечается только в зонах тектонических нарушений. При изысканиях в этом же районе было выявлено, что трещиноватые породы при оттаивании под нагрузкой в $1 \cdot 10^5$ Па осадки не дали и только при давлении около $3 \cdot 10^5$ Па оттаивание трещиноватых сланцев и песчаников в зоне тектонического нарушения на глубине 20 м сопровождалось осадкой до 4 см/м. В менее трещиноватых зонах произошла осадка пород на 0,01—0,02 см/м. В ненарушенном состоянии и при отсутствии значительной трещиноватости песчано-глинистые сланцы с прослоями песчаника обладают низкими фильтрационными свойствами. Коэффициент фильтрации здесь 2—4 м/сут, а в глинистых сланцах он несколько выше—5—6 м/сут. Отмечается стремление к уменьшению водопроницаемости пород с увеличением глубины их залегания. При проведении наливов в пачки глинистых сланцев на глубине до 3 м коэффициент фильтрации увеличивается до 15 м/сут. У тех же пород, залегающих глубже 5 м, коэффициент фильтрации 5—7 м/сут. На глубине 5 м в зонах с тектоническими нарушениями хорошо прослеживается резкое увеличение водопроницаемости пород независимо от их состава. Коэффициент фильтрации глинистых и песчано-глинистых сланцев с прослоями песчаника в этих зонах достигает 12 м/сут, в то время как на прилегающих участках он не превышал 7,5 м/сут. Объемная масса глинистых, углисто-глинистых сланцев, выветрелых песчаников 2—2,3 г/см^3, более плотных сланцев, алевролитов и песчаников — 2,3—2,7 г/см^3. Наибольшая суммарная влажность (льдистость) терригенных отложений—в зонах разломов; на глубине 3 м при пористости 29,6% она составляет 16,4% (пос. Билибино). В шурфе на другом разломе на глубине 6,5—7,3 м влажность изменялась от 30 до 50%. В верхней трещиноватой зоне вне разломов в песчаниках влажность изменяется от 2 до 15%, а в глинистых сланцах — от 3 до 25%. По данным ВНИИ-1 и Дальстройпроекта временное сопротивление сжатию в сухом состоя-

нии сланцев и выветрелых песчаников $400 \cdot 10^5$—$600 \cdot 10^5$ Па, алевролитов — $570 \cdot 10^5$—$730 \cdot 10^5$ Па, песчаников и кремнистых сланцев — $1000 \cdot 10^5$—$1600 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $350 \cdot 10^5$—$1300 \cdot 10^5$ Па; нормативное давление $6 \cdot 10^5$—$12 \cdot 10^5$ Па; коэффициент Пуассона: при сжатии параллельно сланцеватости 0,37—0,59, перпендикулярно сланцеватости 0,11—0,17. Коэффициент теплопроводности при температуре минус 4—0,5° соответственно равен 0,0073—0,0046 Вт/(м·К) и среднее значение теплопроводности 3,64 Вт/(м·К). Объемная удельная теплоемкость мерзлых пород в массиве на глубине 20 м при температуре от —5 до 0,1° соответственно 0,756—2,10 Дж/(кг·К). Коэффициент оттаивания трещиноватых сланцев и песчаников во всех опытах, для всех слоев, выделенных по глубине, оказался равным нулю. На глубине 4—5 м коэффициент сжимаемости оттаивающих пород $0.005 \cdot 10^{-5}$ $Па^{-1}$; на глубине 15 м до и после оттаивания на глубину 1 м с послойной характеристикой осадки — $0{,}001 \cdot 10^{-5}$ $Па^{-1}$; на глубине 20 м в массиве породы объемом около 10 тыс. $м^3$ равен нулю. Коэффициент сжимаемости для пачек слоев с преобладанием песчаников мало отличается от чисто сланцеватых пачек.

Неоднородная осадка при оттаивании возможна в местах, где вскрываются зоны дробления по разломам. Наибольшая осадка оттаявшего скального грунта происходит сразу же после нагружения и быстро, в течение нескольких часов, затухает. Величина осадки штампа мало зависит от степени разрушенности пород и содержания песчаников и сланцев под штампом.

Полная величина осадки штампа при нагружении крутопадающих сланцев и песчаников вечномерзлой зоны, оттаявших на 3 м, составила 3,38—15,88 мм, на глубине 20 м — 155, на глубине 30 м — 258 мм. Скорость осадки на глубине 20—30 м около 10 мм в год, в дальнейшем осадка будет затухать.

Спилито-кремнисто-песчано-глинистая формация поздней юры выполняет Южно-Анюйский прогиб и сложена переслаивающимися спилитами, туфами и кремнистыми породами с подчиненными прослоями алевролитов и вулканомиктовых песчаников. Встречаются горизонты туфобрекчий и туфоконгломератов основного состава. Мощность формации 1300—1400 м. В северной структурно-фациальной зоне эта формация представлена двумя толщами. Нижняя — сложена конгломератами и гравелитами, переслаивающимися с полимиктовыми песчаниками, содержит редкие прослои алевролитов, иногда с примесью туфового материала, спилитов и туфов спилитов. Мощность толщи 750 м. Верхняя — представлена полимиктовыми песчаниками, туфопесчаниками, лавами и туфами кислого состава с прослоями базальтов, линзами конгломератов, углистых аргиллитов и алевролитов, содержащих пропластки каменного угля. Мощность толщи 700 м. Породы интенсивно дислоцированы, рассланцованы и смяты в линейные изоклинальные, иногда опрокинутые складки, разбиты системой параллельных трещин. Углы падения на крыльях складок до 50°.

Флишоидная формация раннего мела развита в Южно-Анюйском прогибе и представлена ритмично переслаивающимися полимиктовыми песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Породы дислоцированы в линейные складки с углами падения на крыльях 8—15, реже 45—50°. Физико-механические свойства пород этой формации не изучались, однако ожидается, что они будут близки к приведенным выше для пород терригенных формаций.

Терригенная молассовая формация поздней юры и раннего мела выполняет позднегеосинклинальный Раучуанский

прогиб. В центральной части прогиба она сложена в основном аргиллитами и алевролитами с подчиненными прослоями песчаников. В полосе, расположенной вдоль западного и восточного побережий Чаунской губы, по рекам Раучуа, Коневаам и в верховьях р. Козьмина, основная роль в строении формации принадлежит аркозовым песчаникам, а сланцевые аргиллиты и алевролиты образуют подчиненные прослои. Характер переслаивания песчаников с алевролитами и сланцами, а также мощность пластов меняются как в разрезе, так и по простиранию. Иногда они образуют ритмично построенные пачки. В основании формации обычно наблюдается горизонт конгломератов, гравелитов, брекчий, образующих также прослои и линзы в толще. В пределах Эльвенейского антиклинального поднятия формация представлена исключительно конгломератами, гравелитами и крупнозернистыми полимиктовыми песчаниками с редкими прослоями углей, углистых алевролитов и аргиллитов. На юго-западной окраине Раучуанского прогиба формация представлена переслаивающимися туфогенно-осадочными и песчано-глинистыми породами. Для них характерна резкая фациальная изменчивость и невыдержанность разреза по простиранию. Среди туфогенно-осадочных образований, тяготеющих к верхней части разреза, встречаются туфы дацито-липаритов, туфоконгломераты, туффиты, полимиктовые и туфогенные песчаники, кремнистые алевролиты. Породы формации образуют сравнительно пологие складки с углами падения крыльев до 20—25°. Мощность пород 600—2000 м.

В массиве до глубины 15—25 м породы трещиноваты. Трещины шириной до 1—2, редко до 5 см, заполнены дресвой, супесью, суглинком, льдом или открытые. Физико-механические свойства пород изучены слабо и характеризуются по данным единичных анализов. Коэффициент крепости сланцев, алевролитов и аргиллитов 2—6; песчаников, туфолав кислого состава — 6—10. Аркозовые песчаники в районе пос. Певек объемной массой 2,65 г/см^3; плотностью 2,75 г/см^3; водопоглощением 0,18%; временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $1300 \cdot 10^5$, а в водонасыщенном — $970 \cdot 10^5$ Па (материалы 2-го ГГУ). Для полимиктовых и туфогенных песчаников нижнего течения р. Мал. Анюй эти значения соответственно составляют 2,63 г/см^3; 2,7 г/см^3; 0,139; $1600 \cdot 10^5$ и $1300 \cdot 10^5$ Па. В пределах Раучуанского прогиба объемная масса верхнеюрских песчаников 2,66 г/см^3, алевролитов — 2,65, сланцев — 2,69 и туффитов — 2,62 г/см^3 (данные СВТГУ).

Породы вулканогенно-терригенной, дацито-липаритовой и андезитовой формаций позднего мела пользуются весьма ограниченным распространением в центральной части Южного Анюйского хребта и на севере региона. Вулканогенная часть разреза их представлена дацитами, липаритами, андезито-дацитами, андезитами, базальтами, их лаво- и туфобрекчиями и туфами. В вулканогенно-терригенной формации, кроме того, развиты конгломераты, песчаники, алевролиты, в меньшей степени — глинистые сланцы. В низах разреза ее преобладают пирокластические образования, конгломераты, песчаники, а в средней и особенно в верхней части — лавовые покровы. На севере региона лавовые покровы часто выклиниваются и замещаются пирокластическими породами. Суммарная мощность вулканогенно-терригенной формации 1000—2000 м, дацито-липаритовой и андезитовой—150—300 м. Залегание покровов близко к горизонтальному.

Андезиты и базальты представляют собой очень крепкие породы с коэффициентом крепости 17—18 и временным сопротивлением сжатию $1400 \cdot 10^5$—$2000 \cdot 10^5$, иногда до $2500 \cdot 10^5$ Па. Кислые лавы менее

прочны, их коэффициент крепости 6—8, временное сопротивление сжатию $1000 \cdot 10^5$—$1200 \cdot 10^5$ Па, туфов и туфогенных образований — $200 \cdot 10^5$—$600 \cdot 10^5$ Па. Объемная масса эффузивов 2,6—2,8 г/см^3, туфов и туфогенных образований — 2,2—2,6 г/см^3.

Значительная трещиноватость вулканогенных пород наблюдается до глубины 15—20 м (до 40—50 трещин на 1 м^2). Трещины различных направлений и углов падения от 10 до 90°, шириной от волосных до нескольких сантиметров, обычно заполнены льдистым супесчано-суглинистым материалом. Нормативное давление на сильнотрещиноватые ление на сильнотрещиноватые базальты $6 \cdot 10^5$ Па.

Гранитоидная формация мелового возраста слагает около 15% площади региона. В Анюйской складчатой зоне гранитоиды развиты в северо-западной (Атыкваемская группа) и юго-восточной (Илирнейская группа) частях. В Чаунской зоне они концентрируются преимущественно вблизи Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Они слагают крупные массивы площадью до 600—900 км^2 и более и мелкие тела размером обычно до 60—70 км^2.

В составе гранитоидов преобладают граниты и гранодиориты. Центральные части крупных массивов однородны, хорошо раскристаллизованы; краевые — изменчивы по составу, часто мелкокристаллические, иногда гнейсовидные. Граниты представлены двумя разновидностями: биотитовыми и биотит-роговообманковыми гранитами. У гранитоидов довольно широкий диапазон изменения объемной массы (от 2,56 до 2,67 г/см^3), что объясняется различным содержанием темноцветных минералов и калиевого полевого шпата. Наименьшая объемная масса характерна для лейкократовых гранитов (у выветрелых разностей 2,2—2,6 г/см^3).

В зоне выветривания до глубины 20—30 м гранитоиды отличаются значительной неориентированной трещиноватостью. Мощность наиболее выветрелой зоны 3—7 м. Ширина трещин изменяется от 0,2 до 3 см, в отдельных случаях достигает 20 см. Трещины открытые или заполнены супесью, дресвой, льдом. На площади 1 м^2 10—30 трещин, в краевых зонах массивов и вблизи тектонических нарушений их в 2—5 раз больше. Породы разбиты трещинами на прямоугольные параллелепипедальные блоки размерами 1,5×5 м, чаще 2×3 м. Преобладает матрацевидная форма отдельности. При выветривании пород образуются крупные глыбы, щебень и дресва. Свойства пород гранитоидной формации приведены в табл. 19.

Породы габброидной формации мелового возраста развиты ограниченно, слагают многочисленные малые тела типа силлов, даек, штоков, линзовидных залежей в основном в палеозойских структурах. Они представлены диабазами, габбро-диабазами, габбро. Физико-механические свойства пород габброидной формации приведены в табл. 19.

Базальтовая формация палеогена представлена небольшими по площади покровами базальтов, андезито-базальтов и трахибазальтов мощностью до 15—20 м, реже лаво- и туфобрекчиями базальтов мощностью 2—3 м и единичными прослоями туфов мощностью до 0,5 м. Для покровов базальтов характерна столбчатая, реже параллелепипедальная отдельность.

Наибольшая трещиноватость в массиве наблюдается до глубины 10—15 м. Трещины размером от волосных до 1—2 см, открытые или заполненные льдистым супесчано-суглинистым материалом. Плотность базальтов 2,74 г/см^3; объемная масса 2,69 г/см^3; водопоглощение 0,48%; временное сопротивление сжатию в сухом состоя-

Таблица 19

Физико-механические свойства пород гранитоидной и габброидной формаций

Породы	Местоположение	Плотность, г/см³	Объемная масса, г/см³	Водопоглощение, %	Временное сопротивление сжатию, 10^5 Па		
					сухой породы	водонасыщенной породы	после 25-кратного замораживания
Граниты	дорога Певек—Валькумей	2,72	2,63	0,3	1539—2128	1260—1560	1540—1740
Гранодиориты и диориты	Южно-Анюйская складчатая зона	2,69—2,72	2,6—2,62	0,33—0,63	1200—1500	1000—1100	—
Диориты:							
невыветрелые	устье р. Апапельхын	2,71	2,51	1,68	1689	1316	776
выветрелые	то же	—	—	—	726	450	270
Габброиды	правобережье Куэквунь, Кувет, Экпатап	2,8—2,9	2,8—3	—	2000—2500	—	—
Габбро-диабазы	то же	—	до 3,3	0,03—0,1	более 2500	—	—
Габбро-диориты	м. Шмидта	—	2,72	—	1848	—	—
Диабазы	бассейн р. Кэперъеем	—	—	—	3300	3200	—

нии $2000 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $1700 \cdot 10^5$ Па. Нормативное давление на сильнотрещиноватые базальты $6 \cdot 10^5$ Па.

Ледниковые и водно-ледниковые верхнеплейстоценовые отложения развиты в горной части региона, где они выполняют долины рек, ручьев и небольшие межгорные котловины.

Ледниковые отложения представлены валунными супесями и суглинками с включением гальки, реже валунно-гравийно-галечным материалом с супесчаным или суглинистым заполнителем; водно-ледниковые отложения — песками, гравелистыми песками, песчано-гравийно-галечным материалом. В целом для отложений характерна большая фациальная изменчивость, слабая сортировка и окатанность материала.

Физико-механические показатели ледниковых отложений в районе прииска «Восточный» приведены в табл. 20 по данным Дальстройпроекта.

Таблица 20

Физико-механические свойства ледниковых отложений

Показатели	Супеси и суглинки с обломочным материалом	Валунно-гравийно-галечниковый материал с супесью и суглинками
Гранулометрический состав, %:		
галька, валуны	37	38,1
заполнитель гравий	63	31,6
		30,3
Объемная масса, г/см³:		
влажного грунта	1,73	1,83
скелета грунта	1,12	1,36
Суммарная влажность, %	55,5	38,5
Пористость, %	49,4—64,4	47,5
Коэффициент пористости	1,42	—
Пределы:		
текучести	21,3	—
раскатывания	16,4	—
Число пластичности	4,1	—
Показатель консистенции	12,4	—
Удельная осадка, см/м	28	28

Ледниковые и водно-ледниковые отложения находятся в многолетнемерзлом состоянии, глубина сезонного протаивания 0,45—0,6 м, реже до 1,5 м. Высокая льдистость отложений (до 72—80,7%) и высокие показатели коэффициентов пористости (среднее значение 1,42) свидетельствуют о распученном из-за льда сложении. При оттаивании под нагрузкой грунты будут испытывать неравномерную осадку до 39—59 см/м. В мерзлом состоянии породы прочные, плохо сжимаемые. Нормативное давление зависит от температуры мерзлой породы и колеблется в пределах $4 \cdot 10^5$—$9 \cdot 10^5$ Па.

Озерно-аллювиальные верхнеплейстоценовые отложения широко развиты на прибрежных низменностях (особенно на Раучуанской и Чаунской), где они слагают поверхность равнин, в горных долинах террасы высотой 10—12 м. Отложения представлены супесями, песками, реже суглинками, связанными постепенными взаимопереходами, содержат прослои торфа и включения линз и жил льда. Пески иногда образуют невыдержанные по простиранию прослои мощностью от 3—10 см до 5 м (о. Айон). Мощность прослоев торфа от 5 см до 4 м, а линз до 10 м. Общая мощность отложений до 60—70 м. Супеси часто содержат большое количество органических остатков, очень редко —

гравий и гальку (до 5—10%). Суглинки пылеватые, от твердых до тугопластичных, местами опесчаненные. Пески мелкозернистые, пылеватые. Физические свойства отложений Раучуа-Чаунской впадины приведены в табл. 21 (по единичным анализам).

Таблица 21

Физические свойства озерно-аллювиальных отложений

Литологические разности	Плотность, г/см³	Объемная масса, г/см³		Пористость, %
		влажного грунта	скелета грунта	
Суглинок:				
твердый	2,72	1,58	1,17	57,7
полутвердый	2,59	1,95	1,62	37,4
тугопластичный	2,55	2,11	1,71	32,9
Супесь:				
твердая	2,51—2,81	1,68—1,97	1,41—1,64	41,6—48,2
пластичная	2,62—2,76	1,96—2,07	1,56—1,73	35,2—46,9
текучая]	2,56—2,73	1,14—1,56	0,75—1,01	60
Песок пылеватый	2,57—2,69	1,87—1,89	1,37—1,42	45—47

Продолжение табл. 21

Литологические разности	Коэффициент пористости	Влажность, %	Пластичность		
			предел текучести	предел раскатывания	число пластичности
Суглинок:					
твердый	1,3	34,8	45	35	10
полутвердый	0,6	19,9	27	19	11
тугопластичный	0,5	23,3	—	—	—
Супесь:					
твердая	—	18,6—21,6	21—28	17—25	3—6
пластичная	—	19,5—25,4	26—28	19—25	3—7
текучая	—	до 56,4	21	17	4
Песок пылеватый	0,88	33,6—39,1	—	—	—

Породы с глубины 0,2—0,5 м находятся в многолетнемерзлом состоянии, содержат большое количество клиновидных жил и линз льда протяженностью 20—30 м. Пересекаясь между собой, они образуют в плане решетку. Мощность жил от 3 до 12, редко до 25 м. Встречаются инъекционные льды. Высокая льдистость отложений делает их сильно просадочными. При протаивании под нагрузкой неравномерные осадки могут достигать 50—60 см/м. Суглинки и супеси при оттаивании будут переходить в плывунное состояние.

Морские верхнеплейстоценовые отложения, слагающие II морскую террасу и имеющие крайне ограниченное развитие, представлены песками, супесями и суглинками, чередующимися между собой, или гравийно-галечниково-песчаным материалом, гравелистыми песками и гравием.

Морская терраса в районе м. Шмидта сложена чередующимся песчано-гравийно-галечниковым и песчаным материалом (от пылеватого до гравелистого) мощностью 14,3—18,6 м (рис. 28). С поверхности распространен торфяной покров мощностью до 2,1 м, подстилаемый иногда подземными инъекционными льдами мощностью 1,6—2,7 м. Линзы супесей и суглинков, расположенные в толще грубообломочных пород, оторфованы, содержат шлиры и гнезда льда мощностью 0,5—2 см. Физические свойства морских отложений приведены в табл. 22. Отложения

находятся в многолетнемерзлом состоянии, глубина сезонного протаивания 0,3—0,5, реже 1 м. Грунты слабо засолены, наиболее засоленные суглинки (до 1,36—1,5%), их температура замерзания минус 1,1—3,4°. Пески, супеси и гравийно-галечниковые грунты засолены лишь на отдельных участках (до 0,27—0,9%), температура их замерзания от —0,8 до —5°. Нормативное давление на мерзлые грунты до $9 \cdot 10^5$ Па.

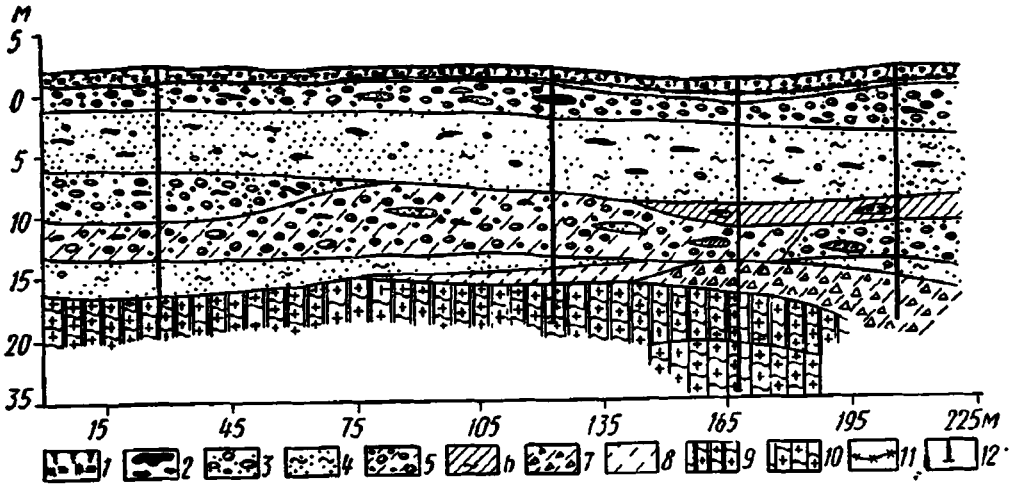


Рис. 28. Геологический разрез морских верхнеплейстоценовых отложений в районе м. Шмидта (по данным Дальстройпроекта):
1 — растительный слой и торф; 2 — лед; 3 — гравийно-галечниковый материал с песком; 4 — песок, местами илистый, пылеватый, гравелистый; 5 — гравийно-галечниковый материал с супесью; 6 — суглинок с гнездами торфа, местами илистый; 7 — дресвяно-щебнистый материал с супесью (элювий микродиоритов); 8 — супесь илистая; 9 — разборная скала микродиоритов; 10 — микродиориты трещиноватые; 11 — верхняя граница многолетнемерзлых пород; 12 — скважины

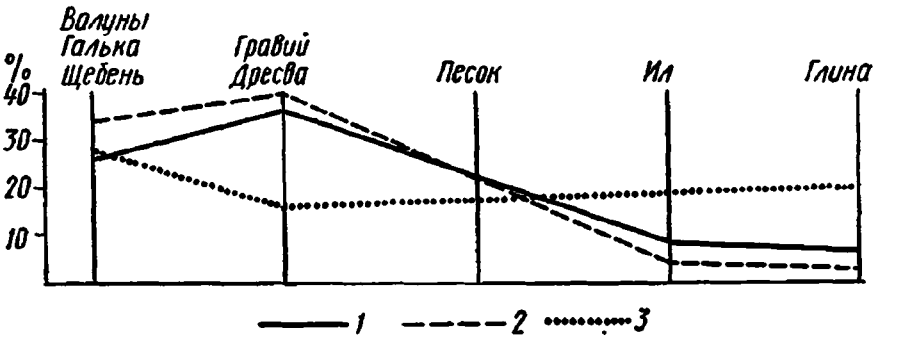


Рис. 29. Изменение гранулометрического состава в различных фациях современного аллювия р. Ичувеем (составила З. В. Орлова).
Фации: 1 — плотиковая; 2 — русловая; 3 — пойменная

Аллювиальные голоценовые отложения представлены преимущественно песчано-гравийно-галечным материалом со сложным фациальным строением. Их мощность достигает на террасах 5—18 м, в поймах — 10—15 м. Особенности строения современного аллювия рассмотрены на примере долины р. Ичувеем (рис. 29). Отложения нижней части разреза аллювия (плотиковая фация, по Карташову, 1958) мощностью 2—5 м сложены глинисто-галечным, галечно-щебнистым, реже галечным, валунным, глыбовым и глыбово-галечным материалом и характеризуются

Таблица 22

Физические свойства морских отложений

Показатели	Крупнообломочные грунты		Песчаные грунты		Супесь, суглинок (9 анализов)
	Горизонты				
	I (15 анализов)	II (17 анализов)	I (36 анализов)	II (9 анализов)	
Гранулометрический состав, %:					
галька	5,1—46,1 / 22,2	25,7—73,2 / 42,9	—	—	0—49,7
гравий	30,3—68,4 / 44,8	15,5—45,4 / 27,8	0—47,4 / 8,8	0—46,6	
заполнитель	4,4—4,9 / 33,0	1,4—48,7 / 29,3	52,6—100 / 91,2	53,4—100	50,3—100
Плотность, г/см³	—	—	—	—	2,67—2,69
Объемная масса грунта, г/см³:					
скелета	0,9—1,86 / 1,32	1,68—2,24 / 1,92	0,6—1,79 / 1,41	1,62—2,06	1,26—2,2
влажного грунта	1,55—2,14 / 1,81	2,06—2,41 / 2,19	1,4—2,1 / 1,85	1,96—2,35	1,63—2,35
Пористость, %	29,8—66,1	15,6—36,5	32,8—77,6	20,3—39,1	17,9—54,6
Коэффициент пористости	—	—	0,49—3,46(1,02)	0,25—0,64	0,22—1,19
Влажность, %	15—72,3 / 41,5	6,5—23,3 / 14,5	15,9—135 / 37,0	9,5—21	5,4—38,2
Пределы:					
текучести	—	—	—	—	25,2—35,1
раскатывания	—	—	—	—	20,6—26,8
Число пластичности	—	—	—	—	4,6—8,3
Степень заполнения пор грунта льдом	0,91—1(1)	0,78—1(1)	0,76—1(1)	0,85—1	0,72—1

Примечание. В знаменателе толеритный предел (при угле наклона плоскости сдвига 0,950).

преимущественно разнофракционным составом. Гравийные, галечные и песчаные фракции составляют (по средним суммарным данным) более 20% каждая, илистые и глинистые фракции — менее 10%. Это отражает плохую сортировку материала. Даже при колебаниях величин отдельных фракций соотношение крупного (галька, щебень, гравий, дресва) и мелкого (песок, ил, глина) материала составляет в среднем 60—40%, а содержание глинистых фракций не превышает 6%. Характерной особенностью является значительное содержание неокатанного материала (щебень, дресва).

Русловая фация аллювия мощностью 1,5—3,5 м, наиболее распространенная, сложена преимущественно галечным, галечно-щебнистым, реже валунно-галечным и глинисто-галечным материалом, отличающимся лучшей окатанностью и сортировкой. Последняя выражается в уве-

личении процентного содержания крупного материала (за счет крупной фракции гравия) и в заметном уменьшении песчаных и илистых фракций. Среднее содержание глины уменьшается до 2,7%. По сравнению с плотиковой фацией среднее содержание крупного материала увеличивается от 63,5 до 72,6%, а суммарное содержание мелкого материала (песка, ила, глины) понижается с 36,5 до 27,2%. Верхняя часть аллювия (покровная фация) отличается большой разнофракционностью. Содержание крупного и мелкого материала становится почти равным. Так, в долине руч. Станового (притока р. Ичувеем) среднее содержание гальки и щебня 27,8%, гравия и дресвы — 15,9, песка — 18,4, ила — 17,9 и глины — 20%. Среднее суммарное содержание крупного материала 44%, мелкого—56%. Резко увеличивается содержание глины в результате поступления продуктов склоновой денудации. Пойменная фация аллювия мощностью 0,5—1 м характеризуется преобладанием мелкого материала (песок, ил, глина) и хорошей сортированностью. Пойменный аллювий представлен преимущественно тремя литологическими разновидностями: галечно-илистыми, галечно-глинистыми и глинистыми, реже встречаются песчано-илистые осадки. Гранулометрический анализ пойменных галечно-илистых отложений указывает на смешанофракционный тип осадков, в котором преобладает гравий (35,5%) и почти в равных количествах содержатся песок (24,2%), ил (17,9%) и глина (16,9%).

Мерзлые гравийно-галечниковые отложения отличаются значительными колебаниями значений естественной весовой льдистости и плотности. В отложениях, где лед встречается в виде цемента, заполняющего поры, льдистость не превышает 12—15%. Содержание же ледяных включений в виде линз, гнезд, пластов и клиньев различной мощности увеличивает льдистость отложений от 20 до 50%. Ледяные включения в толще отложений распределены крайне неравномерно. Объемная масса малольдистых разностей 2,2 г/см^3, сильнольдистых—2 г/см^3. В соответствии с этим пористость малольдистых отложений не превышает 25%, рыхлых и сильнольдистых—часто значительно выше 30%. Нормативное давление на талые гравийно-галечниковые грунты не более $2{,}5 \cdot 10^5$—$5 \cdot 10^5$ Па, на мерзлые — до $5 \cdot 10^5$—$9 \cdot 10^5$ Па. Физико-механические показатели приводятся в табл. 23 (по данным стройплощадок Дальстройпроекта).

Таблица 23

Физико-механические свойства аллювиальных отложений

Показатели	Западно-Полянский район	Билибинский район	Принск «Гремучий»	Пос. Иультин
Гранулометрический состав, %:				
галька	28,4—79,5	23,3—70,5	—	88,7—95,5
гравий	8,8—61,8	16,4—58,5	—	—
заполнитель	2—43,6	7,8—40	—	7,8—14,9
Объемная масса, г/см^3:				
влажного грунта	1,97	2,13—2,37	1,9—2,39	—
скелета	1,54	—	1,6—2,1	—
Льдистость, %	10,9—95,3	7—22,6	7,5—21	2,6—25,6
Пористость, %	41,7	13,9—49,4	15,9—36,9	—
Удельная осадка, см/м	5—37	6—41	0,7—2,5	—

Морские современные отложения, развитые узкой полосой вдоль всего побережья (косы, пляжи, пересыпи, I морская терраса), пред-

ставлены хорошо окатанным гравийным, песчаным, песчано-гравийным и гравийно-галечниковым материалом. Общая мощность отложений до 10, редко 30 м. Песок крупно- и среднезернистый, часто гравелистый, реже мелкозернистый; галька плоская размером 2—5 см. Мощность прослоев и линз от 2—3 см до 0,3—0,8 м. Современные морские отложения, слагающие морскую косу у пос. Певек, длиной до 2,5 км и шириной 0,3—0,4 км, имеют сложное строение (рис. 30). Они пред-

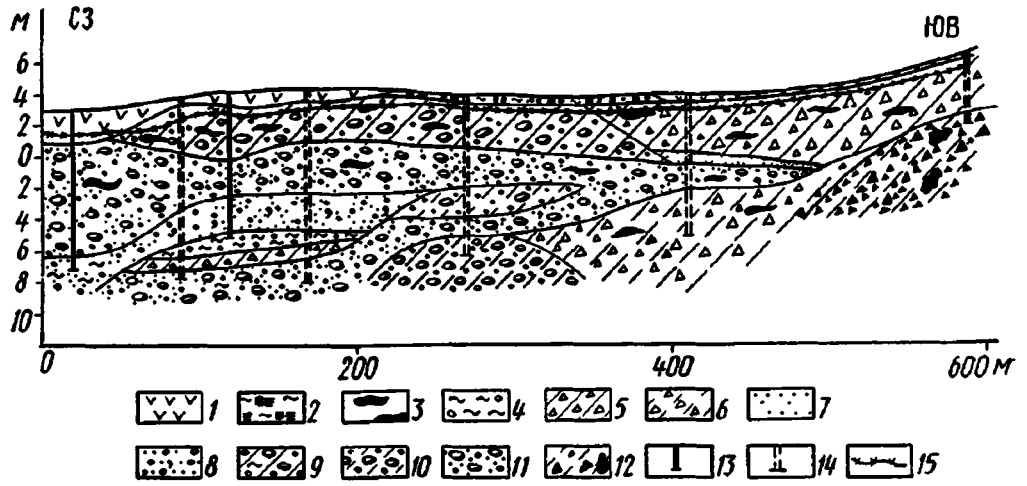


Рис. 30. Геологический разрез современных морских отложений у пос. Певек (по данным Дальстройпроекта):
1 — насыпной слой; 2 — торф; 3 — лед; 4 — ил с гравием; 5 — суглинок со щебнем и дресвой; 6 — супесь со щебнем и дресвой; 7 — песок, 8 — песок пылеватый с гравием; 9—галечниково-гравийный материал с илистым суглинком; 10—с галечниково-гравийный материал с супесью; 11 — галечниково-гравийный материал с песком; 12 — щебнистый грунт с супесью и глыбами; 13 — скважины; 14 — шурфы; 15 — верхняя граница многолетнемерзлых пород

ставлены мерзлыми, в различной степени льдистыми, гравийно-галечниковыми грунтами, заполнителем для которых до глубины 3 м является супесь, а ниже — песок. Их физико-механические показатели приводятся в табл. 24.

Породы находятся в мерзлом состоянии, протаивая в летний период на глубину 0,6—2 м. Нормативное давление на талые грунты до $3 \cdot 10^5$ Па, на мерзлые — $4{,}5 \cdot 10^5$—$8 \cdot 10^5$ Па.

Аллювиально-морские отложения, распространенные в устьях крупных рек Экиатап, Койвельхвээргын, Амгуема и других, слагают обширные дельты, представлены чередованием горизонтальных прослоев супеси, суглинка, песка, галечника и торфа мощностью до 10 м. Повышенные части дельт сложены песками и галечниками, пониженные — супесями и суглинками. По данным единичных анализов пески пылеватые и мелкозернистые (фракции 0,1—0,05 содержится 46—71%) плотностью 2,74 г/см^3, объемной массой 1,21 г/см^3, пористостью до 56%. Супеси, как правило, мелкозернистые, пылеватые. Пористость 51,7—55,9%. Отложения находятся в мерзлом состоянии, протаивая в летний период на 0,3—0,7 м.

Лагунно-морские отложения, слагающие небольшие по площади участки (2—9 км²) низких берегов лагун и тыловые части кос, представлены иловатыми супесями, суглинками и песками, чередующимися

Таблица 24

Физико-механические свойства современных морских отложений

Глубина взятия образцов, м	Гранулометрический состав, %			Объемная масса, г/см³		Льдистость, %	Пористость, %	Осадка, см/м
	галька	гравий	заполнитель	влажного грунта	скелета грунта			
2	55,8	18,2	26	2,12	1,85	14,6	29,3	3,8
3	62	25,4	11,6	2,41	2,2	9,7	17	—
4	63,2	18,2	18,6	2,25	1,78	26,2	32,8	7,9
5	63,9	1,1	35	2,12	1,77	19,9	33,1	8
6	29	34,9	36,1	2,04	1,7	20,6	35,9	12
7	26,9	41,3	31,3	2,17	1,91	13,5	27,9	1,3
8	—	—	—	1,99	1,72	15,3	35,1	1,1
9,5	37	30,2	32,8	2,12	1,9	12,1	28,2	1,7
1,5	63,5	27,6	8,9	2,15	1,91	12,5	27,9	13
2,5	25,6	29,9	44,5	2,07	1,75	18,4	33,9	9,4
3,5	42,5	30,6	26,9	2,24	2,02	12,1	23,8	—
4,5	44,1	34,1	21,8	2,34	2,1	11,2	20,4	—
5,5	55,8	31,2	13	2,15	1,82	17,4	31,3	5,9
6,5	35	36,1	28,9	2,05	1,69	20,6	36,2	12,6
7,5	32,2	35,1	32,7	2,17	1,94	12,7	26,6	—
8,5	35	21,4	43,6	2,04	1,73	17,8	35,4	11,5
9,5	30,4	34,6	35	1,86	1,54	20,6	41,8	20
Модальные значения				2,18	2,18	16,4	30,9	8,5

между собой. Мощность прослоев от 15—20 см до 0,6—0,8 м. Линза лагунных илов мощностью до 6,5 м встречена при бурении скважины в районе м. Биллингса (Дегтяренко, 1971). Общая мощность лагунно-морских отложений до 6—7 м. Их плотность 2,47—2,54 г/см³; объемная масса 0,74—0,95 г/см³; пористость 63—70% (по единичным анализам). Отложения находятся в мерзлом состоянии, протаивая летом на 0,2—0,7 м. Нормативное давление на талую породу до $2 \cdot 10^5$, на мерзлую — до $3 \cdot 10^5$—$4 \cdot 10^5$ Па.

Склоновые и элювиальные отложения мощностью 1—10 м (валы и конусы осыпания — 15—30 м) покрывают склоны гор и плоские водоразделы сплошным, реже прерывистым чехлом. Осыпные, осыпно-солифлюкционные и элювиально-солифлюкционные отложения представлены глыбами, щебнем и дресвой с супесью и суглинком, находящимися в различных процентных соотношениях. Делювиально-солифлюкционные отложения сложены супесями и суглинками с включением грубообломочного материала и органических остатков. Эти отложения находятся в мерзлом состоянии и протаивают в летний период на 0,3—1,5, реже до 2,5 м. Они обладают неравномерной льдистостью (от 4,1 до 293%). Лед в толще грунтов встречается в виде кристаллов, пленок, гнезд размером от 1×1×1 до 5×5×5 см, линз мощностью до 0,5—4 м и прослоев размером от 0,1 до 5 см. Склоновые отложения обычно распучены льдом. При оттаивании они будут испытывать значительную и неравномерную осадку (табл. 25).

Таблица 25

Физико-механические свойства склоновых отложений

Показатели	Пос. Певек		Площадки на междуречье Ичувеема и Пал-Яваама						Пос. Билибино
			осыпно-солифлюкционные крупнообломочные грунты			крупнообломочные грунты		глинистые грунты (17 анализов)	щебнисто-дресвяные грунты (15 анализов)
	глинистые грунты (15 анализов)	щебнисто-дресвяные грунты (43 анализа)	(115 анализов)	(52 анализа)	(80 анализов)	(26 анализов)	(26 анализов)		
Гранулометрический состав, %:									
щебень, глыбы . . .	—	18,1—79,7	2,4—90,9	20,5—81,5	20,3—83,2	11,9—90,2	25,1—82,5	18,5—47,5	—
		—	—	—	—	—	—	—	
дресва	—	4,1—43,1	5,4—85	16,5—63,5	11,3—59,7	14,7—68	9,1—50,4	—	—
		—	—	—	—	—	—		
заполнитель	—	6—46,5	0,8—46,6	1,6—39	1,4—35	1,5—34,5	1,2—49,6	52,5—100	—
		—	—	—	—	—	—	—	
Объемная масса, г/см³ .	1,29—2,12	1,4—2,25	1,24—2,46	1,41—2,49	1,55—2,36	1,34—2,26	1,26—2,28	1,08—2,17	1,56—2,11
	1,77	1,91	1,81(±0,28)	1,8(±0,08)	1,88(±0,21)	—	—	1,51(±0,21)	—
Объемная масса скелета грунта, г/см³	0,71—1,88	1,03—2,12	0,58—2,26	0,8—2,32	1—2,22	0,34—1,97	0,59—1,92	0,29—1,82	1—1,76
	1,26	1,53	1,35(±0,41)	1,36	1,47(±0,18)	—	—	0,81	—
Пористость, %	31,8—73,4	20—68,6	14,7—78,1	14,1—70,5	16,3—62,3	25,6—79,6	27,5—77,8	31,7—89,2	33,5—62,2
	55	43,8	49,1(±15,9)	48,7	44,5	—	—	69,7	—
Коэффициент пористости	0,42—2,76	—	—	—	—	—	—	0,46—8,25	—
	1,45							2,3	
Суммарная влажность (льдистость), % . . .	12,6—160,8	4,7—73	4—135	6,2—87,2	6,5—59	9,2—153	7,7—114	9,4—293	19,8—73,5
	58,9	27,7	41,9(±36,8)	38,1(±19,7)	28,3(±13,1)	—	—	87,9(±55,7)	—
Ожидаемая осадка, см/м	0,55—32	0,47—19,1	1—70	1—59	1—48	2—72	7—70	3—79	9—48
	19	22,5(—)	33(±3)	30(—)	24(—)	—	—	39(—)	—

Примечание. В числителе даны пределы; в знаменателе—толерантные пределы, в скобках—среднеквадратичное отклонение.

Мерзлотно-гидрогеологические условия

Район расположен в зоне сплошной низкотемпературной мерзлоты. Большое разнообразие геолого-географических условий в пределах региона влечет за собой изменение температуры и мощности многолетней мерзлоты. Геотермические разрезы многолетнемерзлых пород в районе

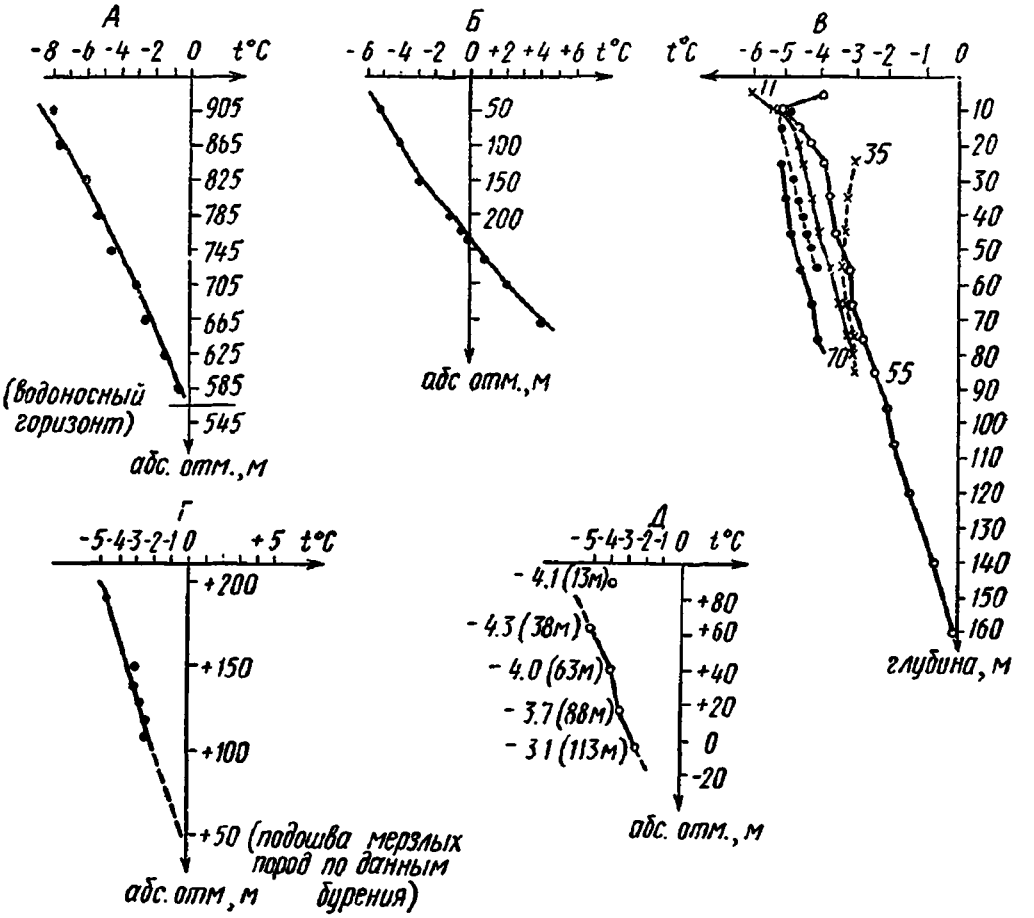


Рис. 31. Графики температуры горных пород мерзлой зоны Анюйско-Чукотского региона (составила Д. В Ефимова)·

А — геотермическая кривая на участке «Восточный» Северного массива (по материалам А. Г. Гущина, 1952); Б — изменение температуры гранитов на руднике Валькумей (по материалам Дальстройпроекта); В — термограммы по скважинам 8, 11, 70, 35, 55 Западно-Полянского месторождения (по материалам Д. В. Ефимовой, 1965); Г — изменение температур в горных выработках на участке Первоначальном; Д — геотермическая кривая скв. 4 в глинистых сланцах и песчаниках нижнего мела п-ова Певекский (по материалам СВТГУ, 1972)

изучались в нескольких пунктах (рис. 31). В результате наблюдений установлено, что на наиболее возвышенных участках мощность мерзлоты достигает 320 м, а температура пород у поверхности мерзлой зоны —8°. Абсолютные отметки подошвы многолетнемерзлых пород колеблются от +595 м до —100 м (в 4—5 км от берега Чаунской губы). В районе м. Биллингса температура мерзлых пород на глубине 10 м минус 8—10,4°. На уровне нулевых годовых амплитуд (15—

20 м) температура многолетнемерзлых пород в среднем минус 4,5—5,5°.

Характерной особенностью грунтов вблизи побережья является их засоленность (0,12—1,36%), понижающая температуру их промерзания от —0,2 до —5°. Мощность сезонноталого слоя в зависимости от состава грунтов, растительного покрова и экспозиции склонов 0,15—1,5, редко достигает 2,5 м. Оттаивание грунтов начинается в июне, промерзание — в октябре. Наиболее резкое изменение температуры наблюдается до глубины 1,5 м; ниже температура понижается более плавно.

Мерзлая зона нарушена многочисленными надмерзлотными таликами, которые располагаются в поймах и руслах большинства водотоков района. В долинах водотоков средних размеров мощность таликов в летнее время достигает 10 м, а в зимнее время — 1,5—2 м. В пойменных частях более крупных рек (р. Раучуа и др.) выявлены талики значительной мощности (до 50 м) и протяженностью до 30 км (данные Дальстройпроекта). В русловой части реки талик, вероятно, сквозной, так как уровень воды в скважине, вскрывшей подрусловые воды, устанавливается в критический период на глубине 3—5 м. В борту долины р. Раучуа мощность мерзлой зоны 80 м, что также свидетельствует о наличии здесь сквозного талика. Сквозной талик шириной 225—375 м установлен при бурении скважин в долине р. Б. Кэпэрвсем (пос. Билибино), в нижней своей части он маркируется наледью. Аналогичный талик устаиовлен в долине р. Иультин. В пределах изменных участков региона морфология кровли мерзлой зоны очень сложная из-за многочисленных озер и рек, создающих условия для образования надмерзлотных таликов, на отдельных участках, вероятно, переходящих в сквозные. Крупные наледи с площадью до 15 км² с мощностью льда до 1—2 м (верховья рек Яракваам, Пучевеем и др.) служат указателем талых зон в горах. Данные интерпретации сейсморазведочных работ показали, что на участках пересечения реками крупных тектонических нарушений (Наглойненская зона разломов) надмерзлотные талики переходят в сквозные. Мощность надмерзлотных подрусловых и пойменных таликов в среднем течении рек Пучевеем, Омрельская, Чаун достигает 30—50 м, ширина их — до 500 м, протяженность — до 15 км. К северу ширина таликовых зон увеличивается.

Подземные воды в пределах региона представлены надмерзлотными и подмерзлотными водами. Надмерзлотные воды формируются в сезонноталом слое, подрусловых и подозерных таликах. Воды сезонноталого слоя разгружаются в летнее время в виде многочисленных источников иисходящего типа и мочажин. Режим их непостоянен, ресурсы незначительны. Водопритоки обычно не превышают 0,1—0,5 л/с. Химический состав вод сезонноталого слоя разнообразен. На склонах и террасах, где развиты хорошо фильтрующие отложения, надмерзлотные воды гидрокарбонатно-хлоридные; на низменных участках, сложенных илисто-глинистыми и торфяными образованиями,—хлоридно-сульфатные, а на участках с рудной минерализацией — сульфатно-хлоридного и сульфатного состава.

Воды таликов локализуются преимущественно в аллювиальных гравийно-галечниковых отложениях. Водопроницаемость талых отложений изменяется в значительных пределах, коэффициенты фильтрации составляют в среднем от 100 до 600 м/сут. Дебиты скважин в летнее время от 0,4 (долина р. Коневаам) до 12 л/с (р. Глубокая, приток р. Млелювеем). К концу зимы расходы уменьшаются в десятки раз. Воды гидрокарбонатно-хлоридные натриево-кальциевые, реже гидрокарбонатные натриево-кальциевые с минерализацией 0,04—0,15 г/л, уме-

решно жесткие, обладают общекислотной и выщелачивающей агрессивностью. Воды подозерных талнков не изучены.

Подмерзлотные воды трещинные, трещинно-жильные (в интрузивных породах), трещинно-карстовые (в карбонатных породах палеозойского возраста) и пластово-трещинные (в триасовых и нижнемеловых отложениях).

Трещинные и трещинно-жильные воды интрузивных массивов изучены очень слабо. Зона выветривания интрузивных пород полностью промерзает, и водоносность их связана только с тектоническими нарушениями. Коэффициенты фильтрации на участках интенсивной трещиноватости пород достигают 14,4 м/сут. Воды безнапорные или слабонапорные. Водопритоки в скважины весьма низкие. До глубины 100 м преобладают пресные воды гидрокарбонатного натриевого состава. Ниже, в пределах Певекского массива, их сменяют солоноватые и соленые хлоридные кальциевые воды.

Пластово-трещинные воды триасовых и нижнемеловых отложений вскрыты скважинами на глубинах 120—290 м. Напоры достигают 130—220 м. Пьезометрические уровни устанавливаются либо на глубине 35 м ниже поверхности земли, либо поднимаются над поверхностью земли на высоту 58 м. Амплитуда колебания уровня вод в годовом цикле 6—20 м и определяется дефицитом питания подмерзлотных вод в зимнее время. Водообильность пород преимущественно низкая и повышается лишь в зонах дробления. Коэффициенты фильтрации в среднем 0,45 м/сут. Удельные дебиты скважин в основном не превышают 0,05 л/с, в зонах тектонических нарушений достигают 0,1—0,4 л/с. При вскрытии подмерзлотных вод водопритоки в бассейне р. Пыркахай могут достичь 160—180 м^3/сут. В Экиатапском синклинории известны многочисленные очаги разгрузки подмерзлотных вод триасовых отложений в виде наледей.

Подмерзлотные пластово-трещинные воды верхней части зоны выветривания мощностью около 100 м преимущественно пресные с минерализацией до 1, редко до 1,5 г/л, гидрокарбонатные натриевые. Ниже по разрезу воды солоноватые хлоридно-гидрокарбонатные или сульфатно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые с минерализацией до 3 г/л, еще ниже — хлоридные натриевые с минерализацией до 22 г/л. На участках развития рудной минерализации воды характеризуются аномальным сульфатным составом и обладают сульфатной агрессивностью. На морских побережьях при откачках из скважин происходит подсос соленых морских вод. Температура подмерзлотных вод в районе пос. Билибино на глубине 500 м изменяется от +0,2° на устье скважины до +4,6°. На прибрежных участках и под Чаунской губой ниже зоны солоноватых вод залегают низкотемпературные соленые воды (криопэги).

Современные геологические процессы и явления

Основными мерзлотными процессами в горной части региона являются солифлюкция, развитая в основном в нижних частях склонов, и морозное выветривание — в гольцовой части гор.

Термокарст и термокарстовые озера развиты в широких долинах рек и на прибрежных низменностях, т. е. там, где распространены достаточно мощные отложения с повторно-жильными льдами. Наличие льда в рыхлых отложениях часто маркируется на поверхности буграми

пучения. На прибрежных участках в обрывах часто обнажаются повторно-жильные льды клиновидной формы. Мощность жил поверху достигает 1—2 м. Мощность линз эпигенетических льдов достигает 4—6 м, ледяных жил — 3—12, редко до 25 м. Постепенное вытаивание жильных льдов приводит к образованию термокарстовых озер, воронок, провалов, просадок. Эти формы микрорельефа осложнены морозобойными трещинами, полигональными блоками диаметром 300—400 м и пятнами-медальонами высотой до 0,2 м и диаметром 1—1,5 м. Наиболее крупные термокарстовые впадины (аласы) наблюдаются в приустьевых участках рек Чаун, Лелювеем и других, на древних плейстоценовых террасах 7—8-метрового уровня. Форма аласов чаще округлая, в поперечнике они могут достигать 400—500 м, днища их заполнены водой или заболочены. На сухих дренированных участках днищ часто образуются бугры пучения — булгунняхи. Размеры бугров различные: от мелких высотой 1—2 м, диаметром 4—5 м до гигантских высотой 30 м, диаметром 100—150 м, образование которых связано с разгрузкой подмерзлотных вод палеозойских отложений по крупному глубинному разлому (Куветский шов).

Наледные процессы широкого распространения в регионе не имеют. Наледи чаще сезонные, небольших размеров, за исключением некоторых, образующихся за счет разгрузки подмерзлотных вод. Площадь их достигает 10 км² при мощности льда 2—3 м. На низменных участках и в долинах рек развито заболачивание.

ЧУКОТСКИЙ И ОХОТСКИЙ РЕГИОНЫ

Регион совпадает с Охотской и Чукотской ветвями Восточно-Азиатского вулканогенного пояса и протягивается вдоль окраины Азиатского материка более чем на 3000 км от восточных отрогов хр. Джугджур до Чукотского полуострова (рис. 32).

Рельеф Чукотской ветви характеризуется широким развитием лавовых плоскогорий, расположенных на различных гипсометрических уровнях (от 600 до 1800 м) и интенсивно расчлененных речной и гляциальной эрозией. Почти горизонтальное залегание вулканогенных покровов, чередование в разрезах лав и пирокластических образований обусловили ярусность рельефа, широкое развитие столовых гор и ступенчатых склонов. Местами над плоскогорьями возвышаются на 200—300 м отдельные гряды и массивы эрозионно-денудационных гор (от массивного и альпинотипного высокогорья до слабо расчлененного низкогорья), сложенные крупными интрузиями. Плоскогорья разобщены межгорными впадинами и широкими речными долинами с равнинным и холмисто-увалистым рельефом.

Рельеф Охотской ветви вулканогенного пояса более расчлененный, обусловленный широким развитием глыбово-блоковых структур, которым придают контрастность разделяющие их грабены. Линейные хребты, кряжи и отдельные горные массивы часто разделены обширными плато (Ольское, Окланское и другие) или межгорными впадинами (Челомджинская, Омсукчанская и другие). Рельеф этой части региона отличается резкими формами, глубоко врезанными долинами, наличием каньонов и отвесных склонов. Распространенным элементом рельефа Охотского побережья являются волнистые «морщинистые» склоны морозно-мерзлотно-десерпционного генезиса (Тютов, 1971). По побережью Охотского моря распространены равнины и небольшие низменности, представляющие собой всхолмленные пространства, сложенные аллю-

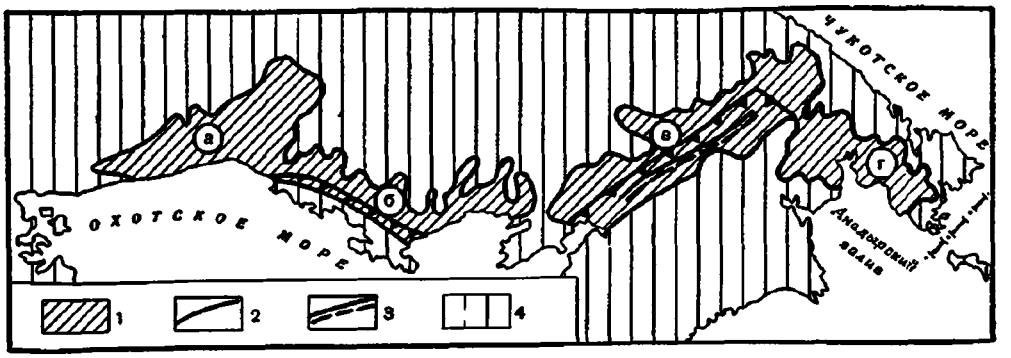


Рис. 32. Схема расположения Охотского и Чукотского регионов:
1 — Охотско-Чукотский вулканоген; 2 граница внутренней и внешней зон пояса; 3 — Анадырский разлом; 4 — прилегающие регионы; структурно-формационные зоны пояса: а — Ульинский прогиб; б — Прохотская; в — Эвено-Чаунская; г — Восточно-Чукотская

виально-озерными отложениями с врезанными в них молодыми речными долинами.

Реки региона, за небольшим исключением, относятся к горному типу и характеризуются большой скоростью течения и каменистым дном. Долины рек широкие с трапецеидальным поперечным профилем и плоским, часто террасированным днищем. Склоны долин крутые (до 45°), сильно расчлененные, глубина вреза до 1000 м. Долины малых рек U- и V-образного профиля. Зимой реки маловодны с продолжительным периодом ледостава (до 8 мес в северных районах и 7 мес — в южных). Ледовый покров до 2,5 м. Малые реки промерзают до дна.

Среди немногочисленных озер наиболее часто встречаются каровые и термокарстовые озера. Из озер вулканического происхождения наиболее крупное оз. Эльгыгыткын диаметром 15 км и глубиной 169 м.

Климат региона суровый, холодный, в центральной части резко континентальный, на Чукотском полуострове и побережье Охотского моря умеренно континентальный и морской. Для территории Охотской ветви вулканогенного пояса характерны среднегодовая температура воздуха —6,1°, относительная растянутость весны и осени и менее суровая зима по сравнению с более северными районами. Здесь выпадает большое количество осадков. Снежный покров неравномерный, в среднем 70 см. Прохладный климат и значительное количество осадков создают в этой части региона избыточное увлажнение. Растительность преимущественно таежного типа, верхняя граница леса в бассейнах рек Охота, Улья и других проходит на высоте 300—400 м (лиственничная тайга), а в более южных районах — на высоте 900—1000 м. Выше простирается горная тундра. В Чукотской ветви вулканогенного пояса смена погоды резче. Абсолютный минимум температур в зимнее время в континентальных районах —63°, а в прибрежной полосе —45—50°. Сравнительно более высокие температуры в середине зимы отмечаются на побережье Берингова моря. Летом в горах температура понижается на 0,5° на каждые 100 м высоты. Зимой происходит сток холодного воздуха в низины, в результате чего в котловинах наблюдаются более низкие температуры, чем на склонах гор. На южных склонах хребтов побережья Охотского моря, Омолонского и Чукотского нагорий выпадает больше осадков, чем на северных. Снежный покров неравномерный.

В условиях перссеченной местности при сильных ветрах часто происходит его перераспределение.

На большей части региона развита сплошная и прерывистая многолетняя мерзлота и лишь на побережье Охотского моря мерзлота носит островной характер.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Охотско-Чукотский вулканогенный пояс представляет собой крупную структуру, заложившуюся в апт-альбское время в условиях максимальной контрастности тектонических движений в зоне сочленения (в зоне крупнейших глубинных разломов) воздымающегося континентального блока Верхояно-Чукотских мезозонд и прогибающейся Охотской (включая Анадырско-Корякскую) геосинклинальной системы (Белый, 1969).

Вулканогенный пояс сложен наземными вулканическими формациями орогенного класса, совместно с которыми встречаются терригенные континентальные, часто угленосные отложения (рис. 33, 34). На флангах пояса вулканогенные образования наложены на структуры Охотского и Чукотского массивов и юго-восточную окраину Сибирской платформы. На остальной территории вулканогенного пояса выделяются две зоны по отношению к Охотской геосинклинальной системе: внешняя и внутренняя. Первая наложена на складчатый комплекс мезозоид, вторая — на образования юры и раннего мела Охотской геосинклинальной системы, с которыми покровы пояса имеют часто общие простирания.

В строении вулканических полей апт-туронского возраста, составляющих до 85% объема вулканитов и определяющих в основных чертах структурный план пояса, резко преобладает андезитовая (формация палеотипных андезитов) формация при подчиненном развитии базальтовой и игнимбритовой[1]. Ими сложены во внешней зоне крупные линейные и изометричные компенсационные вулканоструктуры и поперечные прогибы (Омсукчанский и др.), на флангах пояса с ними связано образование вулкано-тектонических горстов, отделяющих вулкано-тектонические депрессии от мезозойских складчатых сооружений либо разделяющих их между собой. Различие в характере вулканизма на ранних этапах развития пояса отчетливо отражает унаследованный характер вулканогенных процессов с эпигеосинклинальным орогенным магматизмом отдельных зон мезозоид (рис. 35, 36).

Для сенон-датского времени наиболее характерно развитие игнимбритовой (липаритовой) формации, мощные толщи которой (600—1500 м) иногда занимают площади в несколько сотен и даже тысяч квадратных километров и приурочены к различным вулкано-тектоническим структурам (депрессиям, кольцевым структурам оседания, вулкано-купольным структурам и др.) и в меньшей степени андезитовой формации мощностью до 500—700 м. В Охотской ветви пояса главная область вулканической деятельности в сеноне смещается к северу относительно площадей развития более древнего андезитового вулканизма, в Чукотской ветви развивалась главным образом в пределах внутренней зоны.

[1] Доаптский период развития авторами не рассматривается, так как он органически связан с историей развития мезозоид — формации терригенная (P—T) и терригенно-кремнисто-вулканогенная (P—T и J—K),—подробное описание которых дано в соседних регионах.

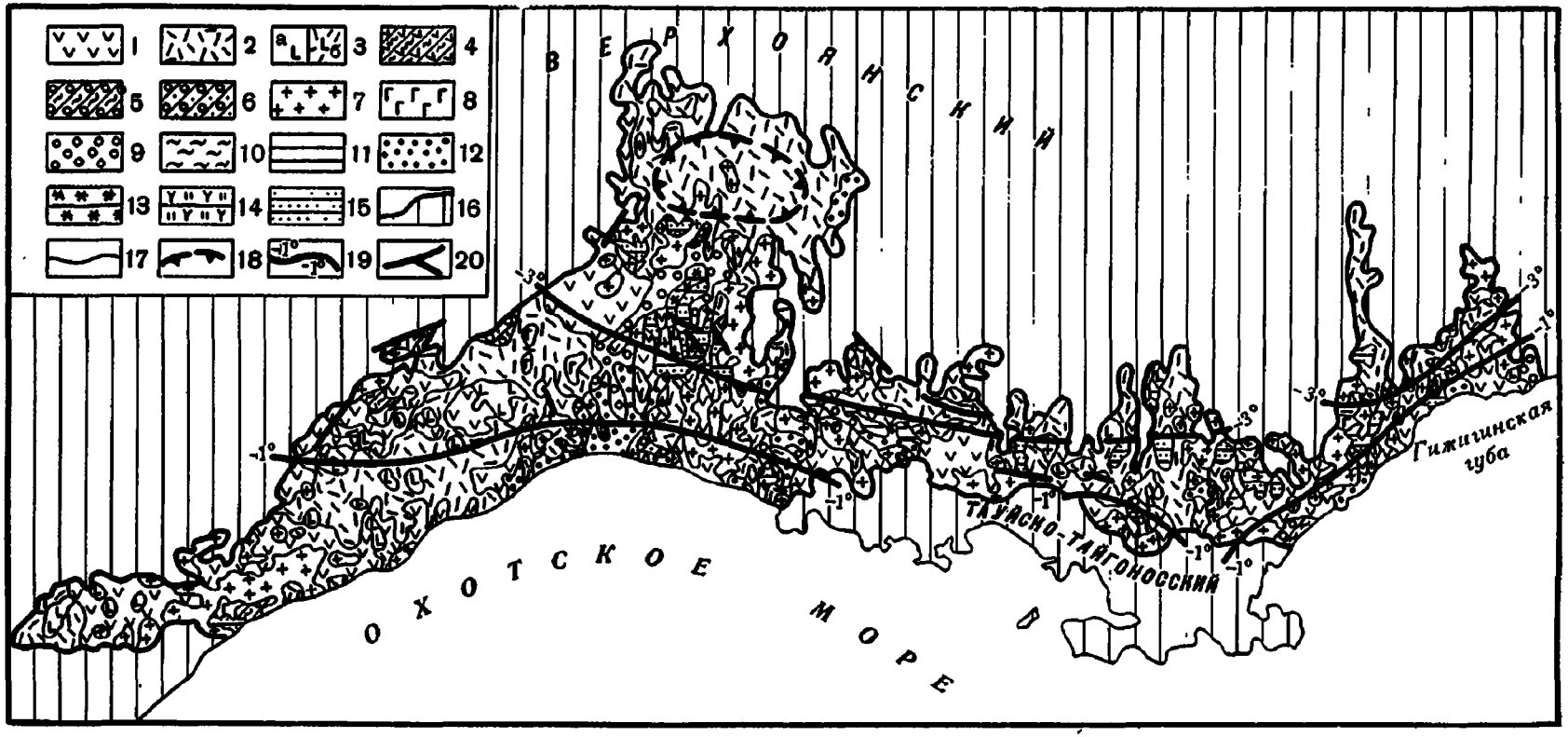
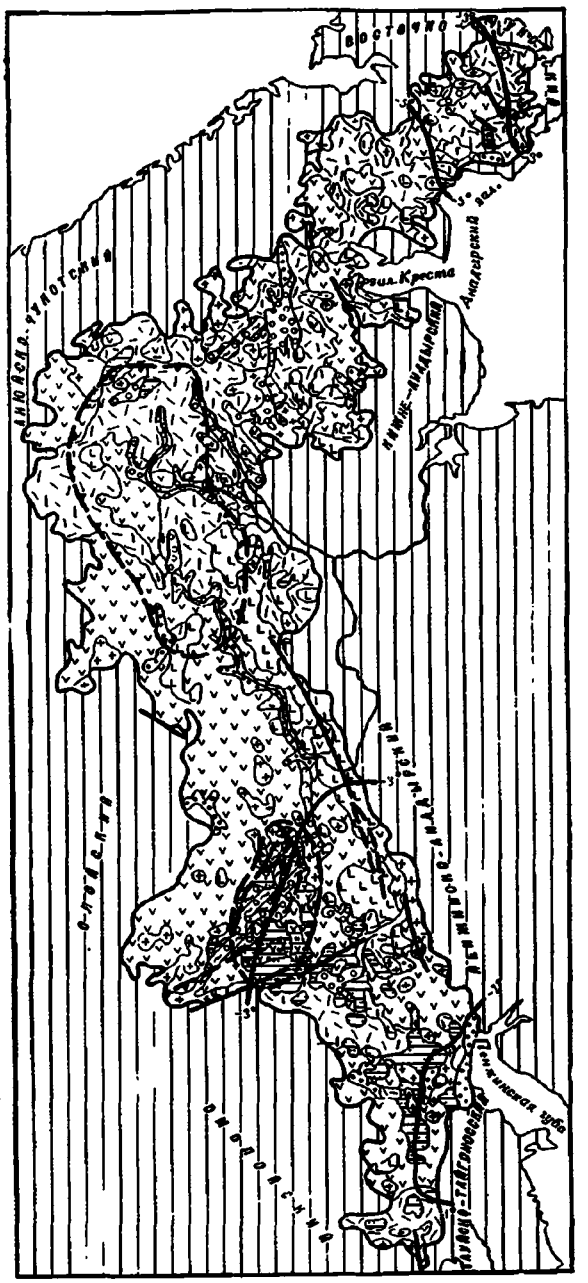


Рис. 33. Схема распространения основных инженерно-геологических комплексов Охотского региона.

Формации: вулканогенные 1 — андезитовая (К); 2 — игнимбритовая (К); 3,а — базальтовая (P_2—N); 3,б — контрастная базальт-липаритовая (N—Q); 4 — вулканогенно-терригенная молассовая (К); 5 — терригенная молассовая (К); 6 — терригенная молассовая кайнозойских впадин (P—N); 7 — гранитоидная (К—P); 8 — гипербазит-габбровая (К). Геолого-генетические комплексы: 9 — средне-верхнеплейстоценовые ледниковые и водно-ледниковые (fgQ_{II-III}); средне-верхнеплейстоценовые и голоценовые: 10 — морские (mQ_{II-IV}); 11 — озерно-аллювиальные (laQ_{II-IV}); 12 — верхнеплейстоценовые и голоценовые аллювиальные и аллювиально-пролювиальные (apQ_{III-IV}); породы фундамента. 13 — метаморфические (PR); 14 — терригенно-кремнисто-вулканогенные (P—T, J—K_1); 15 — терригенные (P—T, J—K_1); 16 — граница региона и сопредельные территории; 17 — границы формаций, геолого-генетических комплексов; 18 — участки плоскогорий и низкогорий с устойчивой мерзлотой и мощными солифлюкционными покровами; 19 — среднегодовые геоизотермы верхней границы всчномерзлых пород; 20 — разломы

С вулканоструктурами мелового возраста нередко сопряжены впадины молассового типа (Красный и др., 1970), заполненные континентальными вулканогенно-осадочными, часто угленосными отложениями мощностью до 500 м и более (терригенная и вулканогенно-терригенная молассовые формации).



Вулканическая деятельность в мелу и палеоцене сопровождалась внедрением многочисленных гранитоидных интрузий. С периодом формирования вулканитов раннего этапа развития пояса совпало внедрение поздних фаз «чукотских» гранитоидов (гранитоидная формация нерасчлененная), получивших развитие преимущественно в северной части Чукотской ветви вулканогенного пояса. С вулканитами андезитовой формации парагенетически связаны ассоциации приповерхностных интрузий «охотских» гранитоидов, формирование которых приходится на конец раннего мела и сеноман — турон (габбро-плагиогранитовая и диорит-гранодиоритовая и гранитная формации). С позднемеловым этапом развития связано внедрение специфической интрузивной серии субвулканических и близповерхностных гранитоидов, обладающих повышенной щелочностью (формации диорит-граносиенит-щелочно-гранитовая, монцонитоидных гранитоидов и субщелочных грани-

Рис. 34. Схема распространения основных нижнемерно-геологических комплексов Чукотского региона. Условные обозначения см. рис. 33

тов и аляскитов). Тела гранитоидов приурочены к зонам крупных разломов и образуют протяженные интрузивные цепочки (до 1000 км) широтного, меридионального и близкого к ним направлений.

В палеогене и в меньшей степени неогене вулканическая деятельность проявлялась локальными трещинными излияниями базальтовой и базальт-липаритовой магмы (базальтовая и контрастная базальт-липаритовая формации), сформировавшими обширные разрозненные плато-

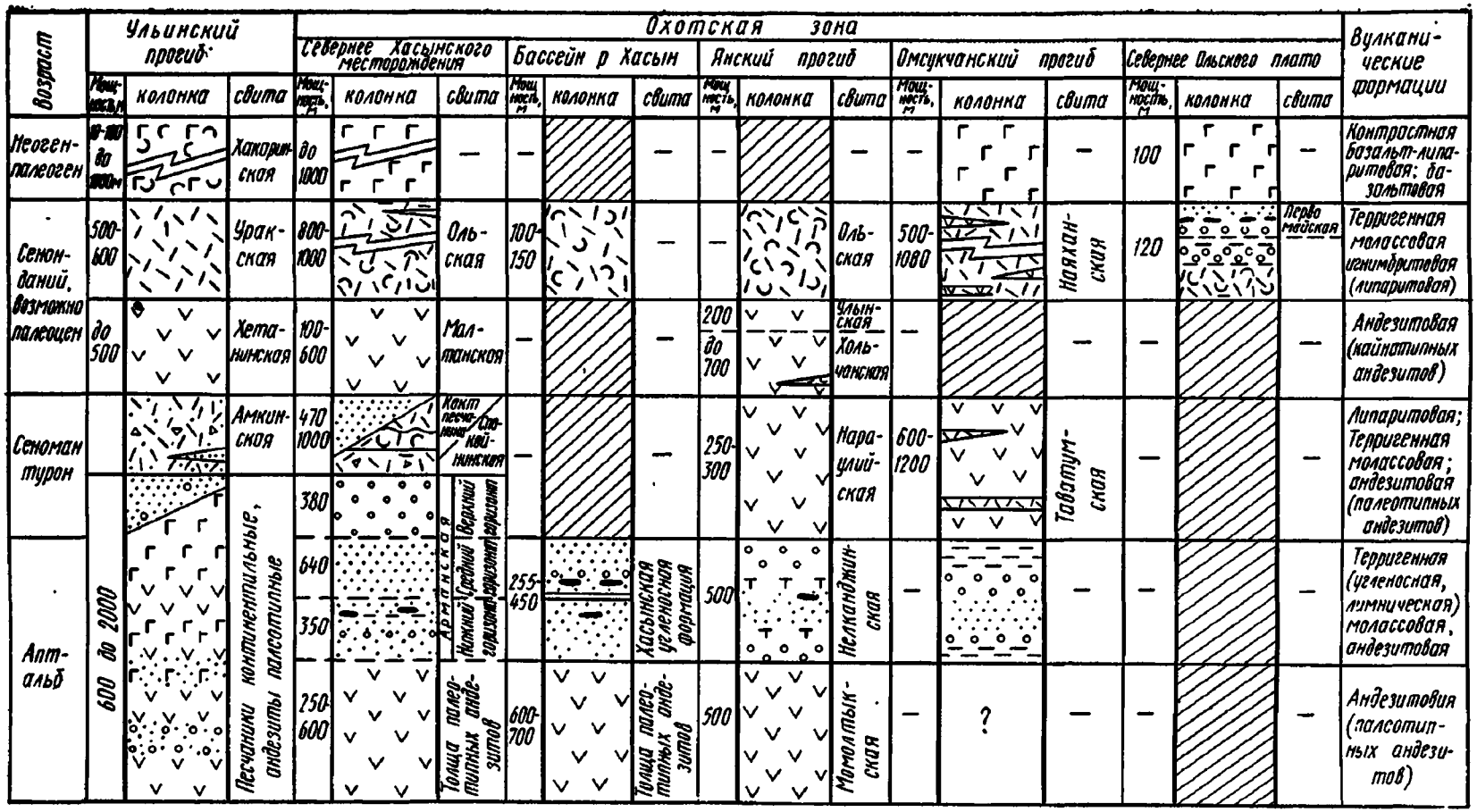


Рис. 35. Литолого-формационные колонки разрезов вулканогенных образований Охотской ветви пояса

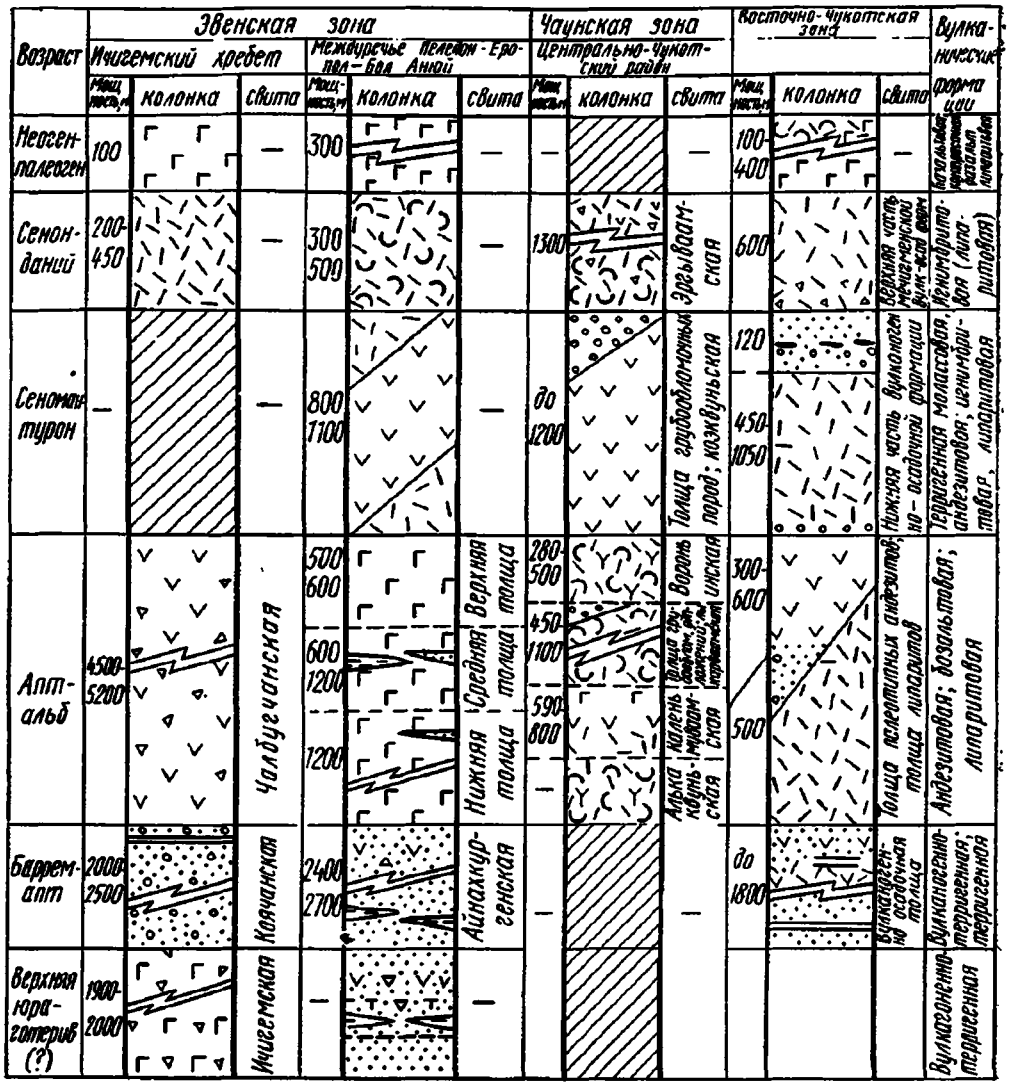


Рис. 36. Литолого-формационные колонки разрезов вулканогенных образований Чукотской ветви пояса

образные покровы и вулканические поля, приуроченные к зонам сочленения раннемеловых горстов и позднемеловых вулкано-тектонических прогибов, а также к краевым частям позднемеловых вулкано-тектонических структур. В Чукотской ветви пояса они локализуются преимущественно во внутренней зоне, главным образом вдоль Анадырского разлома, а в Охотской — во внешней. Не исключено, что с завершающими фазами развития неогеновых базальтоидов связаны раннеплейстоценовые вулканиты Восточно-Чукотской зоны (щелочно-базальтоидная формация).

В межгорных впадинах в приморских депрессиях (Кухтуйская, Мареканская и др.) Охотской ветви вулканогенного пояса в это же время происходило формирование континентальных грубообломочных и угленосных отложений (грубообломочная и угленосная молассы межгорных впадин). В неогене приморские депрессии неоднократно подвергались морской трансгрессии. В районах, где вулканическая деятельность не

проявлялась, развивался пепеплеп и формировалась кора выветривания. Остатки ее известны па Охотском побережье (левобережье р. Кухтуя, Марекан и др.).

Четвертичные отложения, имеющие в пределах региона незначительное распространение, представлены образованиями склонового ряда, ледникового и водно-ледникового, аллювиального, озерно-аллювиального и морского генезиса.

Андезитовая формация включает вулканогенные образования апт-туронского и сенон-датского возраста и характеризуется сложным составом и строением. В вулканических породах формации, по даппым В. Ф. Белого (1969), отчетливо обособляются андезито-базальтовая, игнимбрит-андезитовая и собственно андезитовая субформации, главными представителями которых являются андезито-базальты, андезиты и игнимбриты кислого, умеренпо кислого и среднего состава, в подчиненном количестве присутствуют базальты, дациты, трахиандезиты, трахиты. Лавы составляют не более 20—45% объема формации; потоки их не имеют широкого площадного распространения, быстро выклиниваются и появляются на различных стратиграфических уровнях. Мощность отдельных потоков от первых метров до десятков и сотен метров, протяженность до 10 км. В основании потоков нередко наблюдаются брекчиевые лавы. Вдоль границы внешней и внутренней зон вулканического пояса широко развиты мощные толщи брекчиевых и глыбовых лав андезито-базальтов и базальтов. Значительная роль в строении формации (до 50% ее объема) принадлежит пирокластическим образованиям того же петрографического состава, что и лавы. Они представлены разнообломочными литокристаллокластическими туфами и туфобрекчиями и встречаются в разных объемах и на разных стратиграфических уровнях. Характерной особенностью этих разностей является слоистость, обусловленная чередованием слоев, различающихся по составу, величине и окраске обломков. Игнимбриты, составляющие до 10—35% объема формации, слагают линзо- и пластообразные тела мощностью от первых метров до первых десятков метров и протяженностью до 10 км. Они не образуют мощных толщ, а чередуются в разрезах с туфами, туфобрекчиями и лавами. Постоянно в разрезах формации присутствуют линзовидные пласты туфоконгломератов, пачки тонкого переслаивания туффитов, туфопесчаников, туфоалевролитов и углистых алевролитов с прослоями угля, а также ксенотуфы и ксеноигнимбриты липарито-дацитового и андезито-дацитового состава. Последние образуют крупные, быстро выклинивающиеся тела мощностью до 300—400 м близ интрузий «охотских» гранитоидов.

В целом для формации характерно преобладание более основных пород в нижней части разреза и умеренно кислых — в верхней. Характерным для вулканитов андезитовой формации является широкое развитие процессов поствулканических изменений с образованием сильнотрещиноватых и брекчированных, обохренных и окварцованных пород (алуниты, галлуазиты, пропилиты и др.). С андезитовой формацией связаны многочисленные субвулканические интрузии андезитов, базальтов, микрогаббро, диорит-порфиров, сиенито-диоритов размером в поперечнике от нескольких метров до нескольких километров. Вулканиты андезитовой формации во внешней зоне характеризуются платообразным залеганием, нередко образуют крупные моноклипали, наклоненные в сторону внутренней зоны. Покровы и моноклинали осложнены серией отрицательных вулканоструктур, приуроченных к зонам глубинных разломов, в которых вулканогенные породы дислоцированы сильнее, чем в остальных частях внешней зоны. Вулканиты внутренней

зоны смяты в прерывистые складки, осложненные многочисленными разломами.

В массиве наибольшая трещиноватость (до 20 трещин на 1 м²) характерна для андезитов и андезито-базальтов; с глубиной трещиноватость затухает. Преобладают параллелепипедальная, крупноглыбовая и столбчатая отдельности. Трещинами отдельности липариты и дациты разбиваются на блоки размером 1×0,5×0,2 м, туфы и туфогенно-осадочные породы — на плитки толщиной до 0,2—0,3 м.

Пирокластические породы формации обладают различными прочностными свойствами. Наибольшая относительная прочность свойственна брекчиевым лавам, лапиллиевым туфам разной размерности обломков, в которых имело место некоторое спекание пирокластического материала, и игнимбритам, основная масса которых сильно сварена и подвергалась полной перекристаллизации. Прочность лито- и кристаллокластических туфов в значительной степени зависит от характера цементации пирокластического материала и пористости пород. Большей плотностью и устойчивостью к экзогенным процессам обладают туфы с базальным типом цемента и пепловым (липаритовым) его составом.

Незыветрелые и массивные эффузивы — прочные и высокопрочные породы (по данным 100 анализов) [1], характеризуются плотностью 2.65—2,86 г/см³; объемной массой 2,5—2,75 г/см³; незначительным водопоглощением (для андезитов — 0,1—0,5%, дацитов и игнимбритов — 0,22—0,2%) и коэффициентом размягчения 0,7—0,99. Коэффициент пористости 2,2—6. Временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $1400 \cdot 10^5$—$3220 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $1250 \cdot 10^5$—$2892 \cdot 10^5$ Па. В выветрелых и гидротермально-измененных порфиритах водопоглощение увеличивается до 0,7%, а временное сопротивление сжатию в водонасыщенном состоянии снижается до $970 \cdot 10^5$—$1150 \cdot 10^5$ Па. В породах, подвергшихся поствулканическим изменениям, в связи с появлением новообразований кварца, альбита, серицита и других, пористость увеличивается до 13%, а плотность уменьшается. Следует отметить, что при развитии процессов только окварцевания породы становятся хрупкими, а при серицитизации — пластичными. Среди сильно измененных разностей алуниты (с наименьшим содержанием кремнезема) обладают наибольшей прочностью и высоким коэффициентом размягчения, равным 0,99. По величине ударной вязкости (испытания на копре) они относятся к группе очень вязких пород. Сильно окремненные разности, напротив, характеризуются меньшей прочностью и более низким коэффициентом размягчения (0,5—0,74). Временное сопротивление сжатию алунитизированных андезитов $649 \cdot 10^5$—$1050 \cdot 10^5$ Па, галлуазитов — $361 \cdot 10^5$—$745 \cdot 10^5$ Па.

В процессе многолетнего промерзания и оттаивания вулканогенные породы неоднократно испытывали на себе разрыхляющее действие льда. В результате рядом с зонами крепких андезитов развиты участки интенсивно-трещиноватых пород (криогенная трещиноватость). В отдельных участках выветрелых андезитов содержится до 150 кг/м³ льда. При оттаивании эти породы дают значительные осадки (до 200—300 мм при мощности оттаявшего грунта до 25—30 м). Многолетними наблюдениями установлено, что осадка происходит одновременно с оттаиванием и затухает в течение 2—4 мес, максимальная глубина оттаявшего грунта может достигать 80 м.

---

[1] При характеристике физико-механических свойств пород здесь и далее использованы данные СВТГУ, 2-го ГГУ, ВНИИ-1, Дальстройпроекта, Ленгидропроекта и др.

Игнимбритовая (липаритовая) формация объединяет вулканиты сенон-датского, реже апт-сеноманского возраста. Особенностью формации, существенно отличающей ее от более древних образований, является однообразный кислый — липаритовый состав пород и преимущественно пирокластическая их природа. В составе нижней (раннемеловой) толщи игнимбритовой формации, развитой преимущественно в Чукотской ветви вулканогенного пояса, помимо игнимбритов липаритового состава, существенная роль принадлежит игнимбритам дацитового и андезитового состава. В ее строении проявляется цикличность, выражающаяся в увеличении основности снизу вверх по разрезу от цикла к циклу (Белый, 1969). Игнимбриты переслаиваются с пачками туфов, туфоконгломератов, туфопесчаников, туффитов. Мощность пачек игнимбритов 1—2, реже до 30—50 м; туфов и туфогенно-осадочных пород — от нескольких сантиметров до 10 -20 м. Нередко в верхах разрезов отдельных циклов отмечаются покровы андезитов небольшой мощности. Покровы лав и плотно сваренных игнимбритов часто играют роль бронирующих горизонтов для подстилающих их легко разрушающихся туфовых пачек, в результате чего создается резко выраженный структурный рельеф. По данным И. М. Сперанской (1961), среди игнимбритов Охотской ветви пояса выделяются: 1) серии маломощных потоков (от десятков метров до 100—200 м), имеющие значительное горизонтальное распространение, характеризующиеся отчетливо выраженным зональным строением потоков, обусловленным различной степенью перекристаллизации и сваренности; 2) мощные толщи (до 1000 м) однообразных по облику пород с различной степенью перекристаллизации и сваренности. Последние образуют столовые горы, чаще неправильные купола или громадные валы, протягивающиеся вдоль зон разломов. Появление мощных пачек туфов сопровождается выклиниванием игнимбритов. Туфы липаритов литокристаллокластические с тонкоструктурным кристаллопепловым цементом. Лавы липаритов отмечаются в виде небольших потоков, быстро выклинивающихся по простиранию. Эти породы с резко выраженной тонкополосчатой флюидальной текстурой и афировой, реже порфировой структуры. Иногда в составе формации отмечаются пласты пестроцветных ксеноигнимбритов мощностью от 1 до 15 м, ксенотуфов и туфобрекчий кислого состава, туфопесчаников и туфоалевролитов.

Особенностью игнимбритовой формации Чукотской ветви пояса является широкое развитие наряду с игнимбритами туфов и лав липаритового и трахилипаритового состава. Игнимбриты обладают высокой степенью сваренности и псевдофлюидальной текстурой, массивным порфиро-, реже кристаллокластическим сложением. В нижней части разреза формации нередки пласты черных витрофиров. С позднемеловой игнимбритовой формацией связаны, по-видимому, и многочисленные мелкие (до нескольких десятков метров) дайки и сложной формы интрузии липаритов.

Породы формации слабо дислоцированы. Ими сформированы обширные пологонаклонные платообразные покровы, осложненные просадками, куполовидными вздутиями, флексурообразными перегибами, куполовидными и пологими прерывистыми складками. Вблизи разломов наблюдаются простые складки с углами падения на крыльях 30—40°, вдоль Анадырского разлома — до 60°. Крупные чашеобразные структуры отмечаются в вулканических толщах Ульинского прогиба.

Преобладающая форма отдельности пород — плитчатая, крупноглыбоватая, столбчатая. Наибольшая трещиноватость наблюдается

вблизи зон тектонических нарушений, а также непосредственно у подошвы деятельного слоя. Нередко зоны интенсивной трещиноватости и вторичного изменения пород приурочены к контактам эффузивных пород с дайками. Коэффициент рыхления изменяется от 1,31 до 1,72 (в среднем 1,5). В массиве в зоне криогенной трещиноватости глыбы липаритов более 20 см встречаются спорадично: обломки размером 10—20 см составляют не более 20%; обломки 1—10 см — 50 и до 1 см — не более 30%. Вероятная мощность зоны криогенной трещиноватости 20—30 м. Ширина трещин от нескольких сантиметров до 20—30, реже до 60 см. Трещины нередко заполнены дробленым и глинистым материалом или льдом. Наиболее прочными среди пород игнимбритовой (липаритовой) формации являются липариты, игнимбриты и лавобрекчии. По данным единичных определений их плотность 2,5—2,73 г/см^3; объемная масса 2,45—2,5 г/см^3; модуль упругости образца в куске равен 3,17; коэффициент размягчения 0,82; водопоглощение 0,28%; временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $1480 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $1220 \cdot 10^5$ Па.

Пропилитизированные и окварцованные разности кислых эффузивов характеризуются увеличением пористости почти в 2 раза по сравнению с неизменными разностями за счет появления в них новообразований кварца, кальцита и серицита.

В мерзлом состоянии трещиноватые породы, несмотря на интенсивную раздробленность, присутствие глинистого материала и льда в трещинах, как правило, устойчивы и отличаются значительной прочностью. При оттаивании и увлажнении дробленых пород, а также измененных до глиноподобного состояния в стенках выработок могут происходить обрушения и обвалы. Отрыв горных пород происходит по трещинам, выполненным пластичными глинами или рыхлыми и хрупкими образованиями.

Базальтовая и контрастная базальт-липаритовая формации включают вулканиты апт-альбского, палеогенового (эоценового), неогенового и раннеплейстоценового возраста. Раннемеловая толща базальтовой формации (Эвено-Чаунская зона) представлена двумя фациями: лавовой и туфобрекчиевой. В составе первой преобладают базальты и андезито-базальты (толща «иутенеутских базальтов»), среди которых различаются массивные и слабо пористые, пузырчатые и вспененные разности, местами переходящие в гиалобазальты. Мощность базальтовых потоков от 1 до 20 м. Туфобрекчиевая фация пользуется преимущественным распространением; в ее составе отмечаются агломератовые и разнообломочные туфы, туфобрекчии, ритмично переслаивающиеся между собой.

Палеоген-неогеновые базальтовая и базальт-липаритовая формации представлены преимущественно лавовой фацией, в составе которой преобладают оливин-пироксеновые базальты; постоянно, но в небольших количествах, отмечаются нефелиновые и анальцимсодержащие базальты, лимбургиты. Подчиненное значение имеют туфы и туфобрекчии, залегающие, как правило, в основании разрезов (до 50 м) либо переслаивающиеся с базальтами и потоками вулканического стекла; завершают разрезы трахиты и игнимбриты. Неогеновые и раннеплейстоценовые базальтоиды от палеогеновых отличаются повышенной щелочностью и относятся к трахибазальтам и тефрито-базальтам. Мощность базальтовых покровов 200—300, реже до 1000 м; отдельных потоков, прослеживающихся на расстоянии 5—10 км, обычно не превышает 50—60 м (преобладает 0,2—8 м). Мощность горизонтов туфов и туфобрекчий не более 15—20 м, а пачек переслаивания туфов и лав

150—600 м. Игнимбриты и трахиты залегают в виде потоков незначительной протяженности мощностью 20—30 м, реже достигают 100 м, а также куполов и многочисленных даек.

В основании базальтовых потоков наблюдаются трещиноватые, иногда брекчиевидные, в разной степени пузырчатые лавы (5—10% мощности потока); в средней части потока обычно слабо- и среднепузырчатые и массивные лавы (до 65—75% мощности потока); сильнопузырчатые, иногда шлакоподобные брекчиевые лавы (до 20—25% мощности потока) — в верхней части разреза. Переходы между описанными разностями постепенные.

Субвулканические образования, связанные с развитием описанных выше формаций, представлены дайками, штокообразными и пластовыми интрузиями базальтов, нефелиновых базальтов и фонолитов, а также кринанитов, кварцевых сиснитов, гранодиорит-порфиров и дацитов. Покровы базальтоидов залегают слабонаклонно или горизонтально. Палеогеновые базальтоиды образуют в рельефе наиболее высокие участки плато и столовых гор, неогеновые и раннеплейстоценовые часто приурочены к понижениям современного рельефа, участкам побережья, долинам рек.

Вулканиты базальтоидной формации в зоне выветривания интенсивно трещиноваты до глубины 50—70 м. В них широко развиты шаровая и столбчатая, плитчатая и параллелепипедальная отдельности. Слабовыветрелые и массивные базальтоиды представляют собой прочные и высокопрочные породы. Плотность базальтов в среднем 2,8 г/см^3; объемная масса 2,66—2,75 г/см^3. Объемная масса долеритов и андезито-базальтов колеблется в широком диапазоне (от 2,35 до 2,8 г/см^3), в связи с широким развитием миаролитовых пустот у шлаковых базальтов снижается до 2,12 г/см^3; водопоглощение 0,03—0,84%, наименьшее — у долеритов, наибольшее — у андезито-базальтов. Временное сопротивление сжатию массивных базальтов и долеритов в сухом состоянии $1236 \cdot 10^5$—$4110 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $1350 \cdot 10^5$—$2840 \cdot 10^5$ Па, базальтов разной степени пористости в сухом состоянии $1250 \cdot 10^5$—$2290 \cdot 10^5$ Па (при этом наибольшие показатели свойственны невывстрелым массивным разностям афирового сложения), в водонасыщенном $1480 \cdot 10^5$—$2410 \cdot 10^5$ Па; шлаковидных базальтов не превышает $240 \cdot 10^5$—$120 \cdot 10^5$ Па. Высокие показатели прочности (временное сопротивление сжатию до $2000 \cdot 10^5$—$2500 \cdot 10^5$ Па) свойственны породам кислого и умеренно кислого состава. Наибольшей прочностью среди пирокластических пород обладают агломератовые туфы и туфобрекчии, в которых отмечаются явления спекания обломков. Трещиноватые разнообломочные туфы и туфогенно-осадочные породы (с объемной массой до 2—2,2 г/см^3 и временным сопротивлением сжатию в сухом состоянии не более $400 \cdot 10^5$—$600 \cdot 10^5$ Па) неустойчивы в массиве, легко разрушаются под действием экзогенных процессов. В большинстве случаев породы проморожены на полную мощность. Морозостойкость массивных невывстрелых базальтов равна 100 циклам.

Вулканогенно-терригенная и терригенная молассовые формации объединяют породы континентального и морского происхождения, сформированные в остаточных позднегеосинклинальных прогибах и впадинах на разных стадиях развития вулканогенного пояса в период с баррем-апта по даний. Отложения представлены вулканомиктовыми песчаниками, туфами, туфоконгломератами, туфобрекчиями основного и среднего состава, туффитами, туфопесчаниками, песчаниками, алевролитами, конгломератами, гравелитами, песчано-глинистыми сланцами с пластами каменных углей, опок и бентонитовых глин.

Отложениям свойственна резкая изменчивость литологии и мощностей по латерали и вертикали разрезов, наличие постепенных взаимопереходов между слоями. Степень дислоцированности и литификации описываемых пород резко снижается снизу вверх по разрезу. Толщи сеноман-туронского и особенно баррем-аптского возраста при сравнительно пологом залегании (углы падения на крыльях складок до 5—15°) местами сильно раздроблены тектоническими нарушениями, вблизи которых падение пластов увеличивается до 40—50°, нередко со следами будинажа. Позднемеловые породы дислоцированы значительно слабее, они характеризуются близкогоризонтальным залеганием слоев, местами осложненным брахиформными складками.

Инженерно-геологические свойства пород формации изучены слабо. Наибольшей прочностью и устойчивостью к экзогенным процессам обладают вулканогенные разности (туфобрекчии, туфопесчаники, плотные массивные туфы), разнозернистые, часто известковистые песчаники, гравелиты и конгломераты. Однако временное сопротивление сжатию сильнотрещиноватых туфов после промораживания не превышает $85 \cdot 10^5$ Па. Очень слабыми и малопрочными являются аргиллиты, алевролиты, слабо уплотненные песчаники, опоковидные аргиллиты и опоки, прослои бентонитовых глин и углей. Аргиллиты представляют собой слабо уплотненные, интенсивно-трещиноватые, тонкоплитчатые породы, с частыми прослоями песчаного, углистого либо туфового материала. В приповерхностной зоне они интенсивно разрушаются, превращаясь в мелкие угловатые обломки и глинистые частицы (монтмориллонит). При разрушении под воздействием ударной нагрузки материал проб легко образует щебень. Плотность аргиллитов 2,67—2,68 г/см^3; объемная масса 2,54—2,59 г/см^3; естественная влажность 3,95—4%; пористость 4,5—6%; временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $28 \cdot 10^5$—$182 \cdot 10^5$ Па. Плотность опок и бентонитовых глин 2,25—2,6 г/см^3; объемная масса 1,32—1,98 г/см^3; естественная влажность 6—20% (наиболее высокие показатели свойственны глинам); пористость до 45%. Временное сопротивление сжатию опок в сухом состоянии $152 \cdot 10^5$—$350 \cdot 10^5$ Па. Опоковидные аргиллиты от вышеописанных пород отличаются значительной крепостью и гигроскопичностью, обусловленными явлениями перекристаллизации и окремнения.

Терригенная молассовая формация межгорных впадин и морских депрессий объединяет континентальные и морские отложения палеогенового и неогенового возраста.

Палеогеновые континентальные отложения слагают мощные толщи (до 600 м) либо залегают в основании покровов палеогеновых базальтоидов в виде пачек мощностью до 100 м. Они представлены слабо сцементированными песчаниками и слащеватыми глинами, суглинками и супесями, алевритами, разнозернистыми глинистыми песками, галечниками с прослоями слабо сцементированных углисто-глинистых сланцев, реже туффитов и опок с флорой и лигнитом (до 5—10%). Преобладают глинистые разности грунтов, крупнообломочные — слагают нижние части разрезов и обнажаются лишь в прибортовых частях впадин. Отложения залегают моноклинально, с углами падения слоев от 5 до 15°.

Среднемиоценовые-раннеплейстоценовые отложения, выполняющие приморские депрессии (Кухтуйская, Марсканская и др.), сформировались преимущественно в озерно-болотных и речных условиях, периодически прерываемых морскими трансгрессиями. В их разрезах преобладают разнозернистые пески и песчано-галечные слабо уплотненные и рыхлые отложения. Сцементированные разности (алевриты, конгломе-

раты) присутствуют в нижней части разреза и на поверхности почти не обнажаются. Породы формации слабо дислоцированы в пологие мульдообразные складки с углами падения слоев на крыльях до 5—12°.

Глинистые грунты по гранулометрическому составу чрезвычайно неоднородны. Они относятся к средним и тяжелым суглинкам с переходами к пылеватым глинам и тяжелым пылеватым супесям (коэффициент однородности около 20—30, в отдельных случаях достигает 150). Глинистые грунты обладают комковато-плитчатой и тонкослоистой текстурами. Плитчатые разности в естественном состоянии характеризуются значительной плотностью, при высыхании становятся аргиллитоподобными, рассыпаясь на комочки. По данным единичных определений плотность грунтов 2,39—2,68 г/см^3; объемная масса 1,7—2,1 г/см^3; расчетная пористость 32—42%; коэффициент пористости 0,44—0,76; естественная влажность 14—25%. Глинистые грунты обладают малой пластичностью (число пластичности 3,9—7,5, предел текучести 21—49%, предел раскатывания 17—41%). Мерзлые глинистые разности при оттаивании нередко приобретают консистенцию, близкую к текучей. Пески разнозернистые, неоднородные, часто глинистые, с неясно выраженной тонкой горизонтальной слоистостью. По данным единичных определений плотность песков 2,63 г/см^3; пористость до 40%; модуль крупности 1,3—1,37; влажность 5—25%; приращение объема при набухании 3%. Мелкозернистые и пылеватые пески в обводненном состоянии могут обладать плывунными свойствами. Сильно снижают прочностные свойства пород в массиве прослои и линзы сильнотрещиноватого угля.

Палеогеновые коры выветривания сохранились главным образом в пределах северного побережья Охотского моря под отложениями неогеновых впадин (Кухтуйская, Мареканская и др.), а также на поверхности позднемеловых эффузивных и интрузивных образований. Мощность наиболее сохранившейся коры выветривания достигает 30 м, наиболее часто в пределах 1,5—5 м. Она представлена в основании разреза сильнотрещиноватыми, осветленными эффузивами либо интрузивными породами, сменяющимися дресвой. Выше залегает горизонт пестроцветных измененных пород, сильно ожелезненных по сериям неправильных трещин; куски пород легко истираются до состояния глины. Мощность этих двух горизонтов нередко достигает 20—25 м. Выше располагается дресвяно-глинистый горизонт мощностью 5—6 м, перекрытый двухметровым слоем плотной темно-бурой либо зеленовато-серой глины. Четких границ между слоями нет. Продукты выветривания на липаритах и их туфах, по данным А. И. Красильникова и П. М. Филимонова, относятся к бентонитам; на пиритизированных андезитах в зонах дробления — к охрам и охристым глинам (минеральные краски).

Гранитоидная формация мелового и палеогенового возраста наиболее широко развита в Прохотской и Центрально-Чукотской зонах вулканогена, где породами формации сложены крупные батолитоподобные интрузивные тела. Форма менее крупных массивов разнообразна: преобладают лакколиты, штоки, а также крупные линейно-вытянутые трещинные интрузии с крутыми и вертикальными контактами. Размеры массивов варьируют от нескольких десятков до сотен и даже тысяч квадратных километров. Интрузии сопровождаются широкими зонами контактово-измененных пород (до 1—2, реже до 10 км).

Наиболее многочисленны массивы, сложенные гранодиоритами и гранитами. Породы ранних фаз внедрения — габбро и диориты — сла-

гают небольшие тела в краевых частях крупных массивов. Крупные массивы в центральных частях сложены однородными, хорошо раскристаллизованными средне- и крупнокристаллическими, в периферических — изменчивыми по составу и структуре породами. Граниты, как правило, в эндоконтактах не меняют своего состава, а лишь приобретают мелкозернистую структуру. Гранодиориты, напротив, сопровождаются довольно широкой зоной более основных пород (кварцевых диоритов и габбро-диоритов). В то же время в гранитах, особенно аляскитовых, наблюдается более широкое развитие процессов автометаморфизма. Малые интрузивные тела характеризуются пестрым составом (зональное строение) и непостоянством структур. Очень характерны сложные массивы (Магаданский, Средне-Янский и др.), в которых помимо «охотских» гранитоидов присутствуют и более ранние магматические проявления (возможно, позднеюрские-раннемеловые), представленные тоналитами. Граниты и гранодиориты от мелко- до крупнозернистых, часто порфировидные, биотитовые и биотит-роговообманковые. Структура пород гипидиоморфно-зернистая, с переходами к монцонитовой, гранитовая и др.

Среди контактово-измененных пород наиболее распространены роговики кварц-биотит-полевошпатовые и кварц-биотитовые (по осадочным породам) и кварц-биотит-серицитовые с актинолитом, кордиеритом либо андалузитом (по эффузивам). Интрузивные породы в массиве интенсивно трещиноваты до глубины 80—100, реже 200—300 м. Количество трещин на 1 м^2 составляет 10—30 шт., в краевых зонах массивов и вблизи тектонических нарушений увеличивается в 2—5 раз. С глубиной трещиноватость уменьшается до 1—5 шт. на 4 м^2 (Валькумейский рудник). Блочность пород до глубины 20 м в среднем составляет 40—70, нередко до 20—30 см. Однако и на значительной глубине можно встретить среди плотных и крепких разностей выветрелые и тектонически разрушенные интрузивные образования (штольня на восточном берегу бух. Нагаево). Трещины обычно тонкие (1—2, реже до 10—50 мм), заполненные различными минералами, мелкоземом либо льдом; к зонам дробления и перетирания (тектонитам, катаклазитам и др.) приурочены наиболее мощные линзы и гнезда подземного льда.

Массивные и слабовыветрелые гранитоиды (105 определений) плотностью 2,72—3 и объемной массой 2,4—2,8 г/см^3, характеризуются временным сопротивлением сжатию в сухом состоянии от $1100 \cdot 10^5$ до $2880 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном состоянии — $900 \cdot 10^5$—$2400 \cdot 10^5$ Па. По данным лаборатории ВНИИ-1, временное сопротивление сжатию иногда может достигать $9560 \cdot 10^5$ Па, а после 100-кратного промораживания снижается до $1965 \cdot 10^5$ Па. При этом наиболее высокие показатели прочности свойственны мелкозернистым разностям, наименьшие — крупнозернистым. Большей прочностью характеризуются и гранодиориты с ксенолитами андезитов из эндоконтактов массивов, гранодиорит-порфиры и мелкозернистые кварцевые диориты. По данным 27 определений временное сопротивление сжатию этих пород в сухом состоянии до $2880 \cdot 10^5$—$4200 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — до $2510 \cdot 10^5$—$3980 \cdot 10^5$ Па, после 150-кратного промораживания — до $2011 \cdot 10^5$ Па. Водонасыщение гранитов и гранодиоритов 0,13—0,14%. Незначительное водопоглощение (0,08—0,88%) указывает на морозоустойчивость этих пород. Коэффициент размягчения 0,51—0,92. Наибольшей прочностью обладают роговики. От интрузивных пород их отличает меньшая трещиноватость, от вмещающих пород — большая однородность состава. Ороговикованные граниты и роговики, а также тектониты, катаклазиты, брекчии трения в целом сохраняют высокие значения прочности исход-

ной породы на сжатие, но благодаря сланцеватой структуре, текстуре, вторичным изменениям в них резко снижается сопротивление сдвигу.

Гипербазит-габбровая формация мелового возраста развита ограниченно и представлена гипербазитами, габбро-диабазами, габбро, слагающими небольшие массивы (от 2—3 до 40—120 км^2) штокообразной формы и дайкообразные и неккообразные интрузивные тела. Габброиды и гипербазиты в массиве трещиноваты, отдельность их глыбовая. При выветривании образуются угловатые глыбы размером 3—10 см и щебень размером 3—10 см в поперечнике. По данным единичных определений, объемная масса пород в зависимости от крупности зерен и степени выветрелости варьирует от 2,2 до 3,3 г/см^3, для плотных габброидов — 2,8 3 г/см^3, для плотных габбро-диабазов -до 3,3 г/см^3. Временное сопротивление сжатию неизмененных габбро-диабазов $2000 \cdot 10^5$—$2500 \cdot 10^5$ Па и более, габбро в сухом состоянии — $2000 \cdot 10^5$, в водонасыщенном — $1300 \cdot 10^5$ Па.

Ледниковые и водно-ледниковые отложения средне- и позднеплейстоценового возраста широко развиты в пределах регионов. Ледниковые отложения представлены несортированным валунно-гравийно-галечным материалом с супесью, суглинком и песком, водно-ледниковые — слоистыми и косослоистыми песками, гравийно-галечным материалом (иногда с валунами), реже супесями с включениями гальки и валунов и вулканическим пеплом. Мощность отдельных прослоев галечников с супесчано-суглинистым заполнителем 1—15 м, суглинков, супесей до 6—7 м. Общая мощность отложений до 60, чаще 10—30 м. Плотность валунно-галечниковых отложений 2,63—2,77 г/см^3, песков — 2,56—2,63, супесей и суглинков — 2,15—2,77 г/см^3, объемная масса соответственно 1,7-·1,96 г/см^3, 1,48—1,52 и 1,25—2,01 г/см^3. Естественная влажность отложений колеблется в широких пределах (от 1—2 до 40—80%). Сравнительно низкая пористость (23—25%) и небольшая сжимаемость характерны ледниковым отложениям. Пористость водно-ледниковых отложений увеличивается до 75%.

Отложения в разной степени промерзлые. Моренным отложениям свойственна низкая льдистость и слабо выраженные такситовые текстуры. Льдистость водно-ледниковых галечников в среднем до 13%, однако вниз по разрезу она нередко возрастает до образования базально-массивных и порово-массивных криотекстур. На глубине 4—5 м отмечается пояс льдонасыщенных пород мощностью до 1,5 м со средней льдонасыщенностью 18—40%, имеющий пятнистое распространение. Повышение степени дисперсности грунтов и содержания растительных остатков приводит к формированию в осадках тонкошлировых неполнослоистых и сетчато-слоистых криотекстур. Суглинистые отложения в период оттаивания нередко находятся в скрытотекучем и текучем состоянии. Переход от скрытотекучего состояния в текучее обычно вызывается нарушением естественной структуры грунтов. Оттаивание льдонасыщенных грунтов может вызвать неравномерную осадку фундамента до 10 см/м.

Нормативное давление на супеси и суглинки $1{,}8 \cdot 10^5$—$3 \cdot 10^5$ Па, на гравийно-галечниковые пески — $4 \cdot 10^5$, на гравийно-галечниковые отложения и валунники достигает $5 \cdot 10^5$ и $9 \cdot 10^5$ Па.

Морские отложения средне- (?), позднеплейстоценового и голоценового возраста представлены хорошо окатанными галечниками, гравийниками, сортированными песками и супесями. Нередко разрезы их венчаются торфяно-илистыми отложениями морской лагуны (озерно-болотный режим). В единичных случаях морские отложения содержат крупные линзы подземного солоноватого льда (у пос. Охотск) мощ-

постью до 8 м на глубине 0,8 -6 м от поверхности террасы. Галечники слагают слои мощностью 1,5—5 м, гравий, пески и супеси — 0,5—8 м. Мощность морских отложений 15—25, реже до 80 м.

В естественном залегании отложения морских террас слабовлажные и плотные; отложения пляжа, кос, береговых валов водонасыщенные и рыхлые. Плотность гравийников и разнозернистых песков 2,6—2,7 г/см^3, объемная масса галечников и супесей — 2—2,3, песков и гравийников — 1,4—1,5 г/см^3, соответственно коэффициент пористости у них 0,5—0,6 и 0,7—0,85. Угол внутреннего трения в галечниках и гравийниках 38 40°, в супесях с включениями дресвы и щебня — 21°, сцепление соответственно $0{,}01 \cdot 10^5$—$0{,}02 \cdot 10^5$ и $0{,}25 \cdot 10^5$ Па. Износ гравия в барабане Деваля 7,5%. Модуль общей деформации гравийных отложений $300 \cdot 10^5$ Па, галечников — $500 \cdot 10^5$, супесей — $220 \cdot 10^5$ Па.

Нормативное давление на гравийно-галечные пески до $5 \cdot 10^5$ Па, на сухие супеси — $3 \cdot 10^5$, на водонасыщенные — $1{,}5 \cdot 10^5$, на гальку и гравий — до $6 \cdot 10^5$, реже до $9 \cdot 10^5$ Па.

Озерно-аллювиальные отложения средне- (?), позднеплейстоценового и голоценового возраста представлены сложно построенной толщей. Нижнюю часть разреза составляют галечники и гравийно-песчано-галечниковые отложения с супесчаным либо суглинистым заполнителем (15—45%) с линзами однородных песков, супесей и суглинков; верхнюю — глины, пески и супеси, часто с включениями гравия, гальки и валунов. Мощность отдельных слоев от нескольких сантиметров до 5—7 м. Существенную роль в верхней части разреза играют оторфованные суглинки, вулканические пеплы, илы с прослоями торфа. Общая мощность озерно-аллювиальных отложений средне- (?) и позднеплейстоценового возраста 80—100 м, позднеплейстоценового-голоценового — не более 20 м.

Глины ленточные, слоистые, плотные, пылеватые, характеризуются большой однородностью гранулометрического состава, содержание глинистой фракции в среднем до 36%, ила — 45—50, пыли — 9—10, песка — 3,5—4, гравия, гальки и валунов — не более 2%. Суглинки неслоистые, пылеватые, часто гравелистые. Содержание глинистой фракции в них в среднем 22—24%, ила—до 42, пыли—до16, песка—6,5—8%, иногда встречаются включения гравия и гальки до 15% и более. Плотность глинистых грунтов (по данным единичных определений) незначительна (2,38—2,67 г/см^3), что связано с различным содержанием органического вещества; объемная масса суглинков 1,5—1,8 г/см^3, илов, ленточных глин — 0,72- -1,02 г/см^3; пористость илов 57—67%. Объемная масса галечников 1,8—2 г/см^3, песков — 1,6—1,9 г/см^3. Пористость песков 31—52%.

В многолетнемерзлом состоянии с поверхности эти породы встречаются спорадически. Нижняя граница многолетней мерзлоты находится на глубине 8—9, реже 12—14 м и более.

Аллювиальные и аллювиально-пролювиальные отложения позднеплейстоценового и голоценового возраста слагают надпойменные и пойменную террасы и русло. В разрезе четко выражено двучленное строение: нижняя русловая фация состоит из плохо сортированного песчано-гравийно-галечникового материала с включениями глыб, валунов, с линзами чистых песков, супесей и суглинков; верхняя пойменная фация представлена супесями, суглинками, песками с прослоями песчано-галечникового материала, глин, илов. Мощность отложений русловой фации 0,2—15 м, пойменной — не более 3—10 м. С поверхности отложения пойменной фации почти повсеместно перекрыты торфом мощностью 0,5—1, реже до 3 м. В устьевых частях мелких рек встречаются

конусы выноса, выполненные несортированным галечниково-песчано-гравийным материалом со щебнем и глыбами. Общая мощность аллювиальных отложений 3—25 м и более, аллювиально-пролювиальных — 0,5—15, реже до 18 м. Плотность отложений (по данным 40—50 анализов) колеблется в широких пределах (от 2,6 до 2,85 г/см^3); объемная масса от 1,54 до 2,37 г/см^3, мерзлых разностей снижается до 1,3—1,95 г/см^3; минимальные значения (1,54—1,9 г/см^3) свойственны суглинкам, средние (2—2,01 г/см^3) — гравийно-галечниковым отложениям, супесям и суглинкам с гравием и щебнем (до 40%). Соответственно изменяется и объемная масса скелета — от 1,22 (суглинки) до 2,15 г/см^3 (гравийные супеси и суглинки), средние значения (1,73—1,75 г/см^3) также отмечаются у гравийно-галечниковых отложений, супесей и суглинков с галькой, гравием и щебнем. Естественная влажность у талых песков и галечников от 8 до 24%, у мерзлых — от 11 до 37, у суглинков — 25—35%. Минимальная пористость (22 45%) свойственна гравийным супесям, галечникам с суглинистым заполнителем; у мерзлых разностей она возрастает до 31—64%; у суглинков пористость максимальная (38—71%). Угол внутреннего трения галечников 38°, угол естественного откоса супесей и пылеватых песков 35—40°, под водой — 20—25°. Коэффициент сдвига песков с объемным весом скелета грунта 1,9 г/см^3, без уплотнения под водой равен 0,7. Модуль общей деформации галечников составляет $400 \cdot 10^5$ Па.

Отложения аллювия мерзлые, под руслом рек и частично на I надпойменной террасе талые. Чаще породы малольдистые, находятся в сыпучемерзлом и твердомерзлом состоянии. Местами льдонасыщенность соответствует примерно полному заполнению пор грунта. Для пойменных фаций (тонкодисперсных отложений с детритом) характерны тонкошлировые слоистые, сетчато-слоистые и слоисто-сетчатые криотекстуры, повторно-жильные льды и линзы сезонных и многосезонных инъекционных льдов. Русловым пескам и галечникам свойственны различные виды массивных криотекстур, причем с уменьшением размера частиц грунта объем текстурообразующего льда возрастает. Крупнообломочные аллювиальные отложения распучены льдом и при оттаивании могут давать значительную и неравномерную осадку величиной до 22—30 см/м. Нормативное давление на сухие пески и супеси $2{,}5 \cdot 10^5$—$3 \cdot 10^5$ Па, на водонасыщенные—$1{,}5 \cdot 10^5$—$2{,}5 \cdot 10^5$, на валунники и гравийно-галечниковые отложения — $3 \cdot 10^5$—$6 \cdot 10^5$ Па.

К нерасчлененным отложениям четвертичного возраста относятся **образования склонового ряда,** среди которых выделяются: элювиальные и смешанные склоновые (делювиально-солифлюкционные и осыпно-солифлюкционные), почти сплошным чехлом покрывающие водоразделы и склоны гор. В литологическом отношении они представляют собой различные комбинации тонкодисперсного и грубообломочного материала, находящиеся в зависимости от крутизны склонов и литологии подстилающих пород. В разрезе элювиальных отложений можно выделить две или несколько зон, связанных между собой постепенными переходами. Сверху располагается горизонт щебнисто-глыбовых либо древесно-щебнистых отложений, содержащих то или иное количество супесчаного, суглинистого либо песчаного заполнителя. Ниже он сменяется рухляковой разборной скалой. На эффузивах среднего и основного состава образуются крупноглыбовые и щебнистые развалы. Глыбы размером 0,2—0,4, реже до 1—1,5 м и щебень размером 7—10 см призматической, параллелепипедной, реже плитчатой формы. На кислых эффузивах наблюдается в основном тонкоплитчатый или остроугольный щебень (40—60%) размером 2—5 см с незначительным (5—20%) со-

держанием глыб, заполнитель — суглинок (20—50%). На интрузивных породах при выветривании образуется в основном дресвяно-глыбовый, реже щебнисто-глыбовый материал с супесчаным и песчаным заполнителем. Глыбы изометрической, кубической, реже плитчатой формы размером от 0,1—0,8 до 1—3 м. Содержание глыб 20—80%, щебня — 2—20, дресвы, супеси — 5—20%. На осадочных породах, туфах развиты щебень и глыбы изометрической, удлиненной и плитчатой формы размером 0,2—0,7, реже до 1—3 м. Количество глыб и щебня 60—70%, заполнитель — супесчаный, суглинистый, реже песчаный (30—40%).

Весьма распространенными среди элювиальных образований являются сапролиты — супесчаные, реже суглинистые породы, обладающие повышенной прочностью. Местами они содержат щебень и дресву до 40—45%. Ниже по разрезу сапролиты, так же как щебнисто-глыбовый горизонт, сменяются рухляковой разборной скалой (на глубине 1,5—15 м), которая при ненарушенном состоянии сохраняет структуру материнской породы, но разбита многочисленными трещинами. Часть обломков в рухляковой зоне легко разрушается руками. Физические свойства элювиальных отложений приведены в табл. 26.

Таблица 26

Физические свойства элювиальных отложений

Породы	Плотность, г/см³	Объемная масса, г/см³		Пористость, %
		породы	скелета	
Супесь с дресвой (элювий на гранодиоритах)	2,47—2,81	1,7—2,45	1,46—2,07	20—47
Супесь с дресвой и щебнем	2,65—2,75	1,84—2,07	1,56—1,76	38
Супесь с линзами суглинка с дресвой и щебнем (30%)	2,70—2,78	1,84—2,28	1,69—2,01	33
То же, мерзлая	—	1,42—1,8	1,33—1,62	—
Щебень и дресва с супесчаным и суглинистым заполнителем (элювий на гранит-порфирах)	1,79	2,05—2,27	1,76—2,15	—

Продолжение табл. 26

Породы	Коэффициент пористости	Естественная влажность, %	Пластичность для заполнителя		
			предел текучести	предел раскатывания	число пластичности
Супесь с дресвой (элювий на гранодиоритах)	0,3—0,87	3—29	18—37	14—27	1—12
Супесь с дресвой и щебнем	0,618	7—22	15—27	13—22	2—7
Супесь с линзами суглинка с дресвой и щебнем (30%)	0,493	10—20	18—28	14—21	2—15
То же, мерзлая	—	20—38	—	—	—
Щебень и дресва с супесчаным и суглинистым заполнителем (элювий на гранит-порфирах)	0,43	12—15	—	—	2—14

В отложениях смешанного склонового генезиса наиболее распространены крупнообломочные, щебнистые, реже дресвянистые грунты с различным содержанием мелкозема. Наиболее высокие значения пористости характерны для верхнего слоя отложений, нижележащие слои отличаются среднеплотным и плотным сложением. Плотность зависит от содержания крупных фракций. Естественная влажность колеблется

в широких пределах и не подчиняется каким-либо закономерностям. По степени влажности грунты водонасыщенные. Суглинки и супеси, как правило, твердой и тугопластичной консистенции. Сопротивляемость сдвигу делювиальных отложений оценивается по мелкозему, коэффициент трения равен 0,35—0,4; сцепление $0{,}1 \cdot 10^5$ Па. Модуль деформации при вертикальной нагрузке до 30 Н составляет $100 \cdot 10^5$ Па.

Все описанные разности пород проморожены. Льдистость мелкоземистых разностей до 260%, дресвяно-щебнистых до 200%. Грубообломочные породы массивной, чаще порово-массивной криогенной текстуры. Дисперсным породам свойственны разнообразные такситовые криогенные текстуры (сетчатые, слоистые, волнистые и др.) и наличие повторно-жильных льдов. Прочность пород увеличивается с понижением температуры мерзлого грунта. При температуре мерзлого грунта не выше минус 1,5—2,5° модуль деформации при вертикальных нагрузках до 30 Н составляет $160 \cdot 10^5$—$250 \cdot 10^5$ Па; в талом состоянии грунты не выдерживают нагрузки. Суглинки и супеси, включая и сапролиты, залегающие в слое сезонного промерзания, часто пучинисты. Угол естественного откоса песков 35°, под водой — 25°; дресвы и щебня — 40°. Нормативное давление на пески, супеси, дресвяно-щебнистые породы $3{,}5 \cdot 10^5$—$5 \cdot 10^5$ Па, на щебень и глыбы — до $6 \cdot 10^5$, на сухие пески и супеси — $2{,}5 \cdot 10^5$, на водонасыщенные — до $1{,}5 \cdot 10^5$ Па.

Голоценовые органогенные отложения развиты в устьевых частях рек, на участках межгорных понижений и выположенных сильно обводненных склонов. Они представлены торфом, слаборазложившимся, иногда с примесью или прослойками и линзами глинистого, илистого, реже песчаного материала. Мощность отложений 0,5—3 м. Естественная влажность 135—195%, объемная масса 0,91—1,11 г/см^3, объемная масса скелета 0,38—0,47 г/см^3. Характерной особенностью торфяников является их высокая льдонасыщенность (80—250%), достигающая в отдельных случаях 480%. В мерзлом состоянии торф плотный, с ячеистой и слоистой криогенной текстурой. Лед в торфяниках наблюдается в виде тонких прослоев мощностью 2—5 см или в виде включений неправильной формы. При оттаивании торф превращается в жидкую текучую массу.

Мерзлотно-гидрогеологические условия

Регион расположен в зоне сплошного развития многолетней мерзлоты, а в южной его части (Охотская ветвь пояса) — в зонах прерывистого и островного ее распространения. В горах мощность мерзлых пород от 50 до 500 м, на равнинах — не более 250—270 м. Мощность многолетнемерзлой толщи возрастает от побережья в глубь территории по мере увеличения континентальности климата, а также от подножий к вершинам гор. В прибрежной низинной части региона температура пород в подошве слоя годовых колебаний обычно изменяется от нуля до —1,5°, в немерзлых грунтах около +3°. В континентальной части региона температура пород колеблется: в горах минус 5—9°, в долинах крупных рек минус 3—5°; на Чукотском полуострове в среднем минус 3 -6° (Баранов, 1963).

Значительная глубина эрозионного вреза рек в горной части региона и широкое развитие тектонических нарушений, а также высокие фильтрационные свойства крупнообломочных отложений обусловливают, даже в крайне суровых климатических условиях, развитие много-

численных сквозных таликов как водопоглощающих, так и водовыводящих, маркирующихся в долинах крупных рек (Анадырь, Осиновая, Пыкарваам и др.) гигантскими наледями, иногда достигающими объема 3—8 млн. м³. В нижнем и среднем течении крупных рек в результате миграции русла образуются межмерзлотные талики и формируется слоистая мерзлота. Глубина залегания мерзлых пород под таликами 5—10 м и более. Глубина сезонного протаивания изменяется в широком диапазоне (от 0,5 до 5 м) и подчиняется общим закономерностям.

Подземные воды региона представлены надмерзлотными водами сезонноталого слоя и таликов и подмерзлотными водами.

Надмерзлотные воды сезонноталого слоя приурочены к различным по генезису рыхлым плейстоценовым и голоценовым отложениям и к верхней трещиноватой зоне коренных пород. Водовмещающие породы обычно представлены валунно-галечными образованиями, а также глыбами и дресвой со значительным содержанием супеси и суглинка. Воды поровые и порово-пластовые, безнапорные. Выходы их в виде рассеянных и сосредоточенных струй встречаются повсеместно на пологих склонах водоразделов, в присклоновых частях долин, на пониженных участках междуречий. Мощность водоносного горизонта 0,2—0,3 м, иногда достигает 2—3 м у подошвы склонов и 1,5—2 м на водоразделах. В зимнее время воды полностью промерзают. Водообильность пород низкая, дебиты источников обычно не превышают 0,3—0,5 л/с, водопритоки в выработки незначительны (0,01—0,02 л/с). Химический состав вод преимущественно гидрокарбонатный натриевый, минерализация 0,012—0,25 г/л, общая жесткость 0,04—0,52 мг·экв/л, pH 5,1—6,8. Воды обладают общекислотной и выщелачивающей агрессивностью по отношению к бетону.

Надмерзлотные воды таликов развиты в пределах пойм и первых надпойменных террас в долинах рек и водотоков с площадью водосбора более 17 км². Ширина таликов колеблется от 20 до 500 м. Мощность обводненных таликовых зон обычно 5—7 м, в долинах крупных рек (Бохапча и др.) может достигать 20—40 м. Глубина залегания вод в пределах террас 1—2 м, на поймах рек — не более 0,7 м. Воды заключены в гравийно-галечных отложениях с коэффициентами фильтрации 100 м/сут, иногда достигают 400 м/сут (долина р. Бохапча). Воды безнапорные, в осенне-зимний период при промерзании верхней части водоносного горизонта могут приобретать незначительный напор (до 0,5—0,8 м). Водопритоки в колодцы и шурфы колеблются в пределах 0,7—4,5 л/с, в отдельных случаях — до 10 л/с. Химический состав вод таликов гидрокарбонатный натриево-кальциевый, минерализация менее 0,1 г/л. Общая жесткость 0,05—1,2 мг·экв/л. Реакция от слабокислой до нейтральной, преобладают воды с pH 6,2—6,7. Содержание свободной углекислоты не превышает 48 мг/л. Воды обладают общекислотной и выщелачивающей агрессивностью по отношению к бетону.

Подмерзлотные воды приурочены к вулканогенным, вулканогенно-осадочным и интрузивным породам различного возраста и циркулируют по зонам тектонических нарушений, выветривания и криогенной трещиноватости. Дебиты отдельных восходящих источников колеблются от 3 до 15 л/с. Подмерзлотные воды со сложным напорно-безнапорным режимом циркуляции. Напоры достигают 75—140 м. Химический состав вод чаще гидрокарбонатный, реже хлоридный и сульфатный, кальциево-натриевый и натриево-кальциевый, минерализация от 0,02 до 0,3 г/л, общая жесткость 0,1—0,4 мг·экв/л и равна карбонатной, pH 5,6—6,2. Воды обладают общекислотной и выщелачивающей агрессивностью по отношению к бетону.

Современные геологические процессы и явления

Суровые климатические условия региона, расчлененность рельефа, широкое развитие пород с жесткими кристаллическими связями обусловили характер и специфику развития современных геологических процессов, основными среди которых являются: морозное выветривание, солифлюкция, осыпание и наледеобразование.

В результате морозного выветривания на водоразделах и верхних частях склонов создаются развалы глыбово-щебнистого материала — каменные моря и россыпи, а на крутых склонах — курумы, глетчеры, каменные и щебнистые потоки шириной 2—3, реже до 10 м. На выположенных вершинах низких гор, седловинах и террасовидных поверхностях развиты пятна-медальоны и сортированные грунты, каменные кольца и полигоны.

На пологих склонах среди склоновых процессов ведущая роль принадлежит солифлюкции, в результате которой возникают нагорные террасы, языки, гирлянды, полосы и др. В пределах низкогорий и плоскогорий наблюдается покровная солифлюкция. С возрастанием уклонов до 10—25° течение грунтов приводит к формированию солифлюкционных террас длиной 30—50 м, шириной 10—20 и высотой 1,5—3 м. Иногда террасы отделены друг от друга трещинами разрыва в почвенно-растительном слое. Нередко они соединяются в гирлянды. Высота фронтальных уступов террас 3—4 м. Скорость смещения террас по склону до 2 см в год.

В районах с альпинотипным рельефом и на склонах гор крутизной свыше 30° нередко формируются закрепленные и незакрепленные осыпи мощностью 5—6, реже до 20 м. В периоды снеготаяния и затяжных дождей на крутых склонах гор происходят обвалы разрушительной силы. Огромную опасность процесс осыпания представляет при эксплуатации автодорог, проходящих вдоль склонов гор. Нередко дороги полностью перекрываются каменными осыпями (Палатка - Усть-Омчуг, Палатка — Усть-Нера) и прекращается автотранспортное движение.

Наледеобразование особенно интенсивно развито в северо-восточных и западных частях региона, где в широких долинах наледи достигают площади 25 км² и более, а объем льда превышает сотни кубических метров. Так, объем льда наиболее крупной Апмангындынской наледи достигает 9,5 млн. м³. Большое значение имеет наледеобразование, формирующееся под влиянием деятельности человека. Часто мерзлотным поясом является полотно грунтовой дороги, заложенной вдоль склона, которое препятствует движению потока грунтовых вод.

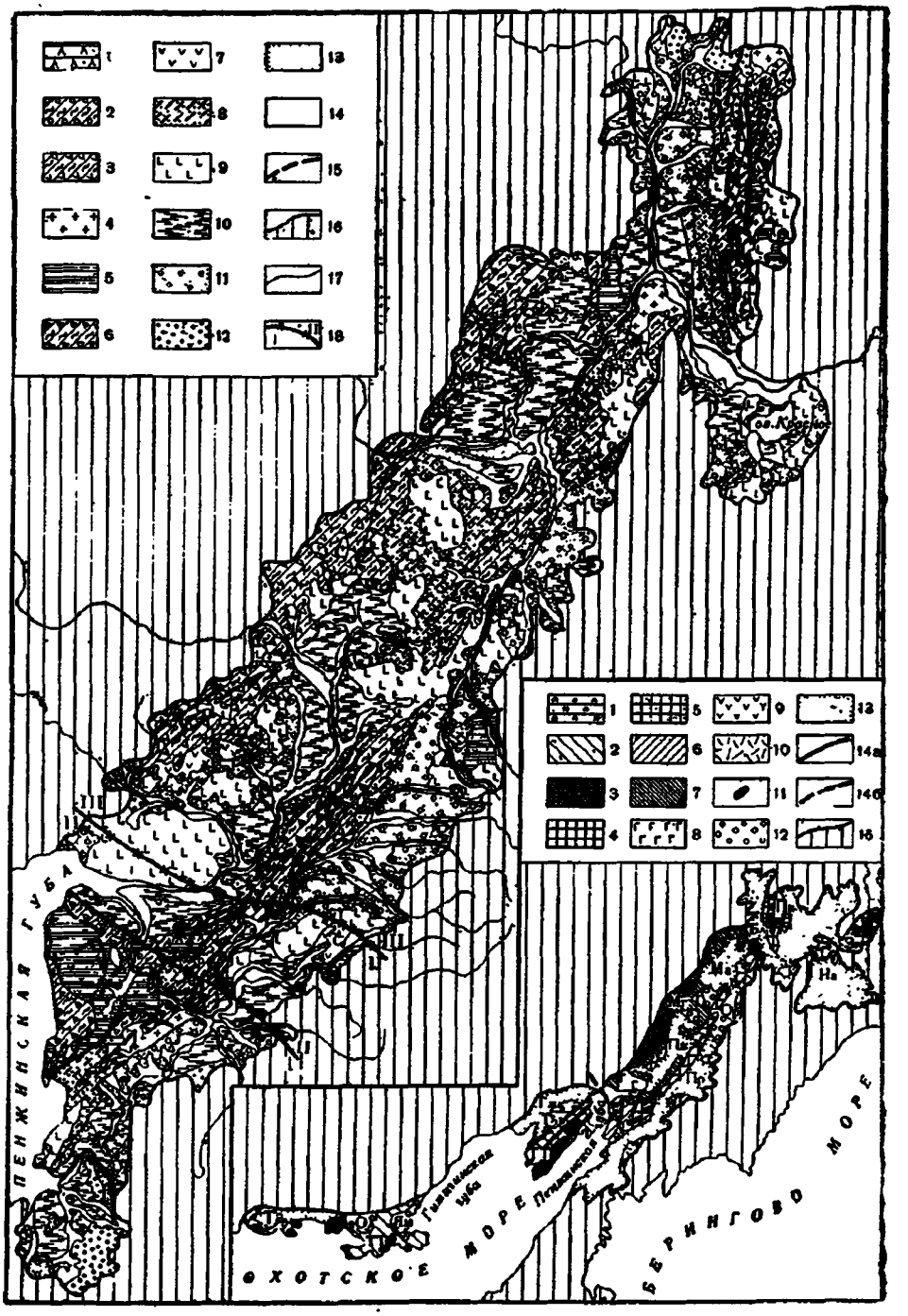
Территория региона относится к сейсмически опасной. Сила землетрясений, наблюдавшихся в районе Магадана, достигала 6—7 баллов. В других районах, в связи с неосвоенностью и слабой изученностью, сейсмические условия не выявлены.

ПЕНЖИНСКО-АНАДЫРСКИЙ И ТАУЙСКО-ТАЙГОНОССКИЙ РЕГИОНЫ

Регионы протягиваются узкой полосой (75—200 км) от Нижне-Анадырской впадины на севере до Пенжинской губы на юге и далее вдоль северного побережья Охотского моря до зал. Ушки, включая п-ов Тайгонос и Гижигинскую низменность.

В тектоническом отношении регионы совпадают с одноименными складчатыми зонами Охотско-Корякской складчатой системы.

Своеобразие рельефа северной части региона определяется чередованием узких, вытянутых в северо-восточном направлении невысоких хребтов (Пенжинский, Пекульней и др.) с обширными впадинами (рис. 37). Преимущественным развитием пользуются низкие горы с абсолютными высотами от 600 до 1000 м, снижающиеся в предгорьях до 150—400 м. Днища впадин заняты плоскими и слабоволнистыми озерно-аллювиальными равнинами с абсолютными высотами от 10 до 80 м. В северной части Бельской и восточных частях Парапольской и Гижинской впадин развиты холмисто-озерные и волнистые ледниковые



равнины с абсолютными высотами 100—300 м и относительными высотами 50—70, редко до 150 м. Вдоль западного склона хр. Пекульней развита аккумулятивно-денудационная слабоволнистая равнина шириной 10—20 км. Равнины расчленены многочисленными реками, в долинах которых фрагментарно развиты пойма и три надпойменные террасы (4—6 м, 8—10 и 12—17 м).

Долины наиболее крупных рек (Анадырь, Пенжина, Майн и др.) достигают ширины 20 км. Глубина рек от 0,5 до 5, редко 20 м (Анадырь). Широко развиты озера площадью 3—7 км², часто соединенные протоками. Наиболее крупные озера: Красное, Таловское, Чистое.

Для южной части региона характерен низкогорный (абсолютные высоты 700—900 м, относительные — до 300 м) плоско- и округловершинный рельеф со склонами крутизной до 15—25, реже 30°. Ряд хребтов субширотного простирания (Арманский, Сигланский, Тайнынотский, Чутковар) с абсолютными высотами до 1500 м и относительными до 800—900 м. Здесь преобладает альпинотипный резко расчлененный рельеф с крутыми склонами (более 35—40°). Долины рек V-образной формы. Межгорные впадины (Магаданская, Балахапчинская, Сигланская и др.) площадью до 50 км². Днища впадин слабоволнистые, местами всхолмленные, с абсолютными отметками 100—150 м и относительными превышениями 20—30 м.

Морские берега преимущественно обрывистые высотой до 300—600 м. Низменные чаще всего приурочены к равнинным участкам и устьям рек.

Климат умеренно континентальный, вблизи побережья Охотского моря — морской, характеризующийся избыточным увлажнением, холодным летом и снежной зимой. Среднегодовые температуры воздуха отрицательные: от минус 2,8° на юге региона (п-ов Тайгонос) до минус 9,9° на севере (Мухоморное). Абсолютные минимальные темпера-

---

Рис. 37. Схема распространения основных инженерно-геологических формаций и геолого-генетических комплексов четвертичных отложений Пенжинско-Анадырского региона.

Формации 1 — вулканогенно-кремнисто-терригенная ($D—C_1$), 2 — терригенная молассовая ($C_2—P$), 3 — кремнисто-вулканогенно-терригенная ($J_3—K_1$); 4 — гипербазит-габбровая (К), 5 — флишоидная ($J_3—K_1$), 6 — терригенная молассовая (K_2), 7 — андезитовая и липаритовая (K_2); 8 — угленосная моласса ($P—N_2$); 9 — базальт-липаритовая (P_2). Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений: верхнеплейстоценовые: 10 — озерно-аллювиальные (laQ_{III}); 11 — водно-ледниковые (fQ_{III}); 12 — ледниковые (gQ_{III}); 13 — аллювиальные (aQ_{III}); 14 — голоценовые аллювиальные (aQ_{IV}); 15 — тектонические нарушения; 16 — граница региона и сопредельные территории; 17 — границы формаций и геолого-генетических комплексов; 18 — сопредельные территории.

На врезке. Схема структурных элементов Пенжинско-Анадырской и Тауйско-Тайгоносской складчатых зон (Охотская позднемезозойская складчатая область):

1 — Тайгоносский докембрийский выступ (Тг); 2 — Тауйско-Тайгоносская складчатая зона (ТТ); 3 — Мургальский антиклинорий (Мг); 4 — поднятия: Таловско-Майнское (ТМ), Пекульнейское (Пк), Золотогорское (Зг); 5 — Балнжгенское поднятие; 6 — Айнынская синклиналь; 7 — внутренние и краевые поднятия Пенжинского прогиба; 8—10 — вулканогенные образования соответственно: основного, среднего и кислого состава; 11 — интрузии гранодиоритов и гипербазитов Впадины: 12 — кайнозойские; 13 — плейстоцен-голоценовые: Тауйская (Та), Пенжинская (Пж), Парапольская (Пр), Орловская (Ор), Марковская (Мр), Бельская (Бл), Нижне-Анадырская (На); 14 — границы. а) Пенжинско-Анадырской складчатой зоны, б) регионов, 15 — сопредельные территории

туры воздуха достигают минус 43—61°, максимальные — плюс 27—31°. Среднегодовое количество осадков 250—500 мм.

Положение региона в высоких широтах обусловливает развитие тундровых ландшафтов, а на юге — лиственничного редколесья и кедрово-ольхового стланика.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Тауйско-Тайгоносский и Пенжинско-Анадырский регионы, в геотектоническом отношении представляющие собой структуры Охотско-Корякской позднемезозойской складчатой системы, имеют сложную историю развития.

В палеозойский этап, предшествующий образованию Охотской геосинклинали, были сформированы породы основания геосинклинального комплекса, представленные терригенно-карбонатной, вулканогенно-кремнисто-терригенной и молассовой формациями.

Главный геосинклинальный комплекс формировался в длительный отрезок геологической истории — с триаса в Тауйско-Тайгоносской складчатой зоне и с поздней юры в Пенжинско-Анадырской зоне. В Тауйско-Тайгоносской зоне формирование терригенных морских осадков протекало на фоне интенсивной вулканической деятельности (кремнисто-вулканогенно-терригенная формация и группа вулканогенно-терригенных формаций). В раннюю стадию развития Пенжинско-Анадырской зоны происходило накопление кремнисто-песчано-глинистых отложений, обогащенных вулканогенным материалом (кремнисто-вулканогенно-терригенная формация), и песчано-глинистых осадков (флишоидная формация). В период с баррема по альб произошла частная инверсия геосинклинальных прогибов, во время которой наряду с морскими осадками формировались и континентальные, часто грубозернистые, образовавшие мощные толщи моласс. Одновременно по зонам глубинных разломов происходило внедрение интрузий кислого, основного и ультраосновного состава. В поздний этап развития (сеноман-дат) геосинклинальные условия сохранялись лишь в Пенжинско-Анадырской зоне, где формировались морские песчано-глинистые осадки флишоидной формации. Накопление сеноман-туронских пресноводно-континентальных грубозернистых, иногда угленосных отложений (терригенная молассовая формация) происходило локально. Здесь проявлялась интрузивная и вулканическая деятельность — позднемеловая липаритовая (игнимбритовая) формация.

В кайнозойский этап заложились наложенные впадины, заполнявшиеся осадками молассовой формации. Фациальный состав осадков меняется от грубообломочных на периферии до более тонкозернистых в центральных частях прогибов. В это же время формируются породы контрастной базальт-липаритовой формации.

Терригенно-карбонатная формация объединяет толщи ордовик-силурийского (Пенжинско-Анадырская зона) и каменноугольно-пермского (п-ов Тайгонос) возраста. Формация представлена переслаивающимися филлитовидными и глинистыми сланцами, песчаниками, алевролитами (мощность прослоев от 0,1 до 50 м). В нижней и верхней частях разреза находятся пласты конгломератов мощностью 50—70 м, а в средней и верхней частях разреза — линзы пелитоморфного и мраморизованного известняка мощностью до 40 м. Общая мощность от-

ложений от 550—1100 в Пенжинско-Анадырской зоне до 2000 м на п-ове Тайгонос.

Породы сильно метаморфизованные, трещиноватые по напластованию и вкрест простирания пород. Трещины открытые шириной 2—4 см. При выветривании сланцы превращаются в плитчатый щебень толщиной от 3 до 10 мм, на остальных породах образуются обломки размером 15—80 см. В невыветрелом состоянии породы крепкие. Временное сопротивление сжатию сланцев $400 \cdot 10^5$—$600 \cdot 10^5$ Па, песчаников и алевролитов — $1000 \cdot 10^5$—$1200 \cdot 10^5$, известняков и конгломератов—$1400 \cdot 10^5$—$1600 \cdot 10^5$ Па.

Вулканогенно-кремнисто-терригенная формация девон-раннекаменноугольного возраста мощностью до 1100 м представлена на юго-западе диабазами и спилитами, содержащими прослои яшм, туфопесчаников мощностью 0,1—1,5, редко 10 м, а также мощные линзы и пачки кристаллических и рифогенных известняков мощностью 100—150 м. В северо-восточной части формация представлена кремнистыми алевролитами, глинисто-кремнистыми сланцами, песчаниками с прослоями туфов кислого состава (30—80 м), туфобрекчий и пластами кварцевых порфиритов (до 10 м). В толще встречаются линзовидные прослои органогенных и пелитоморфных известняков мощностью 3—6 м. В северо-восточном направлении наблюдается уменьшение вулканогенного материала и замещение его терригенными осадками.

Диабазы, спилиты и порфириты очень крепкие, слоистые, иногда массивные. Песчаники крепкие, слоистые, мелко-, средне- и крупнозернистые, иногда с туфогенным материалом до 25%. Известняки кристаллические крепкие с массивной и полосчатой текстурой, содержат примесь глинистого материала, нередко брекчированы. Туфы и туфобрекчии крепкие, содержат до 75% обломков. Породы трещиноватые с толстоплитчатой, глыбовой и столбчатой (в эффузивах) отдельностями. Трещины открытые шириной 0,5—4 см, реже заполненные кварцем или кальцитом, крутопадающие (угол падения 40—80°), горизонтальные или слабонаклонные (до 15°). Временное сопротивление сжатию эффузивов $2000 \cdot 10^5$—$2500 \cdot 10^5$ Па, а выветрелых $1400 \cdot 10^5$—$1600 \cdot 10^5$, яшм и кремнистых разностей — $1200 \cdot 10^5$—$1400 \cdot 10^5$, песчаников, известняков и туфов — $400 \cdot 10^5$—$600 \cdot 10^5$ Па.

Терригенная молассовая формация среднекаменноугольного—пермского возраста представлена толщей морских отложений — переслаивающихся конгломератов, гравелитов, песчаников, аргиллитов и сланцев, редко алевролитов общей мощностью 600—1000 м. Преобладают конгломераты и гравелиты. Отдельные разности пород часто фациально замещаются по простиранию. Породы формации сильно трещиноваты. Трещины параллельные и перпендикулярные слоистости, открытые (до 5 см) или заполненные льдистым мелкоземом. В инженерно-геологическом отношении формация не изучена.

Кремнисто-вулканогенно-терригенная формация триаса-поздней юры Тауйско-Тайгоносской зоны мощностью до 3000 м и породы поздней юры-раннего мела Пенжинско-Анадырской зоны мощностью до 2600 м. Она представлена в нижней и верхней частях разреза (хр. Пекульней) туфами и туфобрекчиями с прослоями туфопесчаников и алевролитов и редкими маломощными (5—60 м) горизонтами лав основного состава, а в средней части разреза — лавами диабазов, спилитов вариолитов с прослоями туфов.

В южном направлении роль вулканогенных пород уменьшается и в разрезах начинают преобладать песчаники и алевролиты. Происходит также уменьшение мощности от 1200 м (Кутинская антиклиналь) до 500 м (Майнский антиклинорий). Отдельные разности пород формации образуют невыдержанные по мощности слои и пачки: покровы эффузивов от нескольких метров до 60, реже до 100 м; многопокровные пачки (из лав различного состава) достигают нескольких сотен метров; слои туфов и туффитов от 0,1 до 50 м; кремнистых пород — 1—15, редко до 100 м; песчаников и алевролитов — от нескольких сантиметров до десятков метров. Породы формации образуют систему антиклинальных и синклинальных складок северо-восточного простирания с углами падения на крыльях 15—60°.

Лавы эффузивов основного и среднего состава массивные, местами пористые, крепкие и очень крепкие. Они характеризуются плитчатой, глыбовой и подушечной отдельностями размерами от 0,15×0,4 до 1,5×2 м, а также шаровой отдельностью диаметром 0,15—2 м. Туфы и туффиты крепкие. Кремнистые породы также крепкие, массивные, обладают высокой прочностью. Песчаники мелко- и среднезернистые, крепкие, местами окварцованные. Для песчаников и алевролитов характерна тонко- и толстоплитчатая отдельность.

В зоне выветривания в терригенных породах преобладают трещины по напластованию и перпендикулярно ему, в вулканогенных разностях—вертикальные, крутопадающие и горизонтальные. Они обычно открытые (шириной от 1—5 мм до 5 см), реже заполнены льдистым песчано-глинистым материалом, окислами железа. При выветривании породы интенсивно разрушаются, образуя глыбовые, щебнистые и дресвяные россыпи и осыпи. Временное сопротивление сжатию невыветрелых базальтов, андезитов, липаритов и спилитов изменяется от $1400 \cdot 10^5$ до $2000 \cdot 10^5$ Па, туфов и туффитов — $1000 \cdot 10^5$—$1800 \cdot 10^5$, песчаников и алевролитов — $1000 \cdot 10^5$—$1620 \cdot 10^5$, кремнистых пород — $1200 \cdot 10^5$—$1400 \cdot 10^5$ Па.

Флишоидная формация позднеюрского-раннемелового и позднемелового возраста широко распространена в Пенжинско-Анадырской зоне, суммарная мощность отложений более 5500 м. Формация представлена пачками (мощностью 30—50 м) ритмично чередующихся песчаников, алевролитов и аргиллитов (мощность прослоев от 0,02 до 2 м), содержащих отдельные слои массивных песчаников. Встречаются редкие линзы и пласты конгломератов, гравелитов и туфобрекчий (мощностью до 6—15 м), прослои туфов и туффитов (мощностью 0,1—3,5 м), которые образуют иногда мощные пачки (Кутинская антиклиналь, до 150 м). Конгломераты обычно слагают базальные слои мощностью до 10—50 м, реже развиты в верхней части разреза (Пекульнейское поднятие). Для толщи в целом характерно наличие линз, линзовидных или караваеподобных стяжений известковистых пород и мергелей. Породы дислоцированы в мелкие прямые и наклонные крупные складки северо-восточного простирания с углами падения слоев на крыльях от 15 до 65°, в зонах разломов до 70—80°. Все породы формации сильнотрещиноватые (трещины в основном по напластованию или разнонаправленные) с тонкой и грубоплитчатой (толщиной 2—60 см), иногда глыбовой (размером 0,5×0,7 и 1,5×2 м) отдельностью. Трещины шириной 0,3—3 см (у поверхности) открытые или заполненные льдистым песчано-глинистым материалом, реже карбонатом.

По геофизическим данным, в хр. Пекульней (материалы Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института, 1971)

средние плотности терригенных пород (песчаников, алевролитов, аргиллитов) поздней юры и раннего мела 2,64—2,69 г/см^3, позднего мела 2,53—2,58 г/см^3. Временное сопротивление сжатию песчаников, алевролитов и конгломератов $800 \cdot 10^5$—$1400 \cdot 10^5$ Па, аргиллитов, туфов и туфитов — $400 \cdot 10^5$—$1000 \cdot 10^5$ Па.

Группа вулканогенно-терригенных формаций (песчано-глинистая плагиолипарито-андезитовая флишоидная и галечниково-глинистая плагиолипарито-базальтовая молассовая) позднеюрского—раннемелового возраста, сформированная в позднегеосинклинальную и инверсионную стадии развития, характеризуется чрезвычайно сложным и изменчивым составом и строением. В составе формаций отмечаются оливиновые базальты, андезиты, дациты, плагиолипариты, агломератовые и брекчиевые лавы, туфы и туфобрекчии, среди которых постоянно присутствуют туфопесчаники, туфоконгломераты, туфоалевролиты, конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты, кремнисто-глинистые сланцы с пластами каменных углей. Мощности отдельных пластов не выдержаны по простиранию, часты фациальные замещения. Общая мощность отложений п-ова Кони около 2800 м, на п-ове Тайгонос она достигает 5000 м, в пределах Пенжинско-Анадырской зоны до 4000 м.

Породы формаций смяты в крупные складки, крылья которых осложнены более мелкими складками шириной до нескольких сотен метров. Складки второго порядка сильносжатые, часто асимметричные, разбиты разломами на мелкие блоки. В межразломных блоках породы крепкие массивные, слаботрещиноватые, устойчивые к выветриванию. В зонах разломов породы теряют свои прочностные свойства, они сильно трещиноваты, изменены гидротермальными процессами. Инженерно-геологические характеристики пород не изучены. Коэффициент крепости непарушенных пород можно принять 8—9.

Терригенная молассовая формация позднемелового возраста представлена перемежающимися конгломератами, разнозернистыми песчаниками и алевролитами с редкими прослоями аргиллитов и туфов и линзами каменных углей. Формация наиболее распространена в Пенжинско-Анадырской зоне. Мощность формации 1000—2200 м. Породы смяты в пологие линейные складки северо-восточного простирания, осложнены складками более высокого порядка и разбиты многочисленными разломами. Падение слоев в сводовой части 10—30°, на крыльях — до 75°.

Конгломераты и гравелиты с песчанистым цементом (до 50%) крепкие, реже слабые. Песчаники разнозернистые, массивные крепкие. В Таловско-Майнском поднятии встречаются слабо сцементированные песчаники, перемежающиеся в виде прослоев (10—20 м) с крепкими разностями. Песчаники постепенно переходят в алевролиты, имеющие аналогичный состав и сложение. Туфы андезитов и дацитов слабые и средней крепости. Аргиллиты, сланцы и туфы при выветривании и увлажнении превращаются в суглинки и глины. В породах развиты многочисленные трещины по слоистости, редко перпендикулярные ей, что способствует образованию тонко- и толстоплитчатой (толщиной от 5 до 80 см), а местами шаровой (диаметром до 1 м) отдельностей.

Объемная масса песчаников 2,59—2,7 г/см^3, алевролитов — 2,66, конгломератов — 2,74—2,77 г/см^3. Временное сопротивление сжатию для песчаников в сухом состоянии $1140 \cdot 10^5$—$1350 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном (0,49—0,89%) — $1050 \cdot 10^5$—$1300 \cdot 10^5$ Па.

Андезитовая (апт-сеноман) и липаритовая (сенон-дат) формации имеют ограниченное распространение. Пло-

щади распространения вулканитов в Пенжинско-Анадырской зоне приурочены к границе с вулканогенным поясом, в Тауйско-Тайгоносской зоне они сопряжены с крупными глубинными разломами. В составе андезитовой формации отмечаются андезиты, андезито-базальты, андезито-дациты, дациты, их туфы и туфобрекчии, перемежающиеся в разрезе с туфоконгломератами, туфопесчаниками, туфоалевролитами, туффитами с линзами и прослоями углисто-глинистых сланцев и каменных углей. Мощность отложений не превышает 1000 м. Липаритовая формация представлена незначительными по мощности (до 400 м) и площади покровами липаритов и игнимбритов. Породы эффузивных формаций мелового возраста собраны в широкие коробчатые складки либо слагают пологие моноклинали с углом наклона слоев 5—20°.

В зоне выветривания на отдельных участках отмечается интенсивная трещиноватость пород, которая прослеживается на значительные глубины (до 100—150 м на водоразделах). Системой разноориентированных трещин породы разбиваются на плитчатые отдельности. Размеры отдельных обломков не превышают 5—20 см. Однако и они при ударе молотком рассыпаются на мелкощебенчатые и дресвяные фракции. В зонах разломов эффузивные породы до глубины 10 м также сильно трещиноваты, разбиты на отдельные куски, сцементированные глиной. Невыветрелые андезиты, базальты и липариты очень крепкие с коэффициентом крепости 15—17. Объемная масса пород в основном 2,6—2,85 г/см^3, коэффициент рыхления в среднем 1,5. В мерзлом состоянии образования тектонических зон устойчивые, однако при оттаивании свойства их резко изменяются: в стенках выработок начинаются обрушения, вывалы, осыпи мелкообломочного материала.

Гранитоидная формация мелового возраста наиболее широко развита в пределах Тауйско-Тайгоносской зоны и представлена гранитами, гранодиоритами, диоритами, монцонитоидами и другими породами, слагающими крупные батолитоподобные и трещинные интрузии, вытянутые вдоль зон разломов на десятки и сотни километров (Восточно-Тайгоносский, Магаданский и др.).

Интрузивные породы до глубины 100 м трещиноваты, наиболее интенсивная трещиноватость отмечается до глубины 7—10 м. Сильно выветрелые гранодиориты — «гнилая скала» (Гурячий, Сафронов, 1968) — расположены в береговых обнажениях бухты Нагаева. В зонах новейших разломов мощность ослабленных трещиноватых магматических пород 1—5 м. При пересечении таких зон подземными выработками происходят вывалы, образуются купола и ниши, что вызывает необходимость возводить сплошное крепление. Невыветрелые и массивные гранитоиды очень крепкие, коэффициент крепости 12—13. Объемная масса гранитов 2,5—2,8 г/см^3, гранодиоритов — 2,47—2,88, диоритов — 2,58—2,71 г/см^3. Временное сопротивление сжатию в сухом состоянии достигает $2750 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $2425 \cdot 10^5$—$2430 \cdot 10^5$ Па. В мерзлом состоянии выветрелые гранитоиды представляют собой очень прочную породу, а при оттаивании превращаются в дресвяную супесь. Нормативное давление на выветрелые гранитоиды мерзлые $5 \cdot 10^5$—$6 \cdot 10^5$ Па, а на сильно выветрелые талые — $1{,}5 \cdot 10^5$—$2 \cdot 10^5$ Па.

Гипербазит-габбровая формация мелового возраста развита в основном в Пенжинско-Анадырской зоне и представлена гипербазитами и габбро, слагающими дайки и массивы площадью от 5 до 1250 км^2. Все породы крепкие, трещиноватые с параллелепипедальной, глыбовой и плитчатой отдельностями. Трещины открытые (0,2—0,5 см) вертикальные и крутопадающие, реже горизонтальные. Породы формации в инженерно-геологическом отношении не изучены.

Молассовая формация палеоцен-плиоценового возраста мощностью от 400 м (Тауйская зона) до 2000—3000 м (Пенжинско-Анадырская зона) выполняет наложенные впадины. Формация представлена песчаниками, переслаивающимися в нижней части разреза с конгломератами и гравелитами, а в верхней — с алевролитами, аргиллитами и сланцами с линзами и прослоями углей. Встречаются редкие горизонты (мощностью до 70 м) андезитов, базальтов и их туфов. Породы собраны в складки с углами падения на крыльях от 5 до 30°, часто нарушены разломами с широкими до 500 м зонами дроблений. Породы этой формации отличаются большим разнообразием прочностных показателей. Встречаются крепкие, слабо сцементированные и рыхлые (сыпучие) разности. В плотных разностях породы угленосной молассы сильно трещиноваты. Для песчаников, алевролитов, гравелитов и конгломератов характерны трещины различной ориентации, преимущественно крутопадающие, шириной 3—5 мм. Трещины обычно открытые, густотой от 20, реже до 100 штук на 1 м². Аргиллитам, углям, реже алевролитам, присуща густая ветвистая волосовидная сеть трещин, выполненная иногда льдистым песчано-глинистым материалом, кальцитом или кварцем. Песчаники и алевролиты имеют, как правило, плитчатую блоковую форму отдельности размером в поперечнике от 3 до 60 см, а аргиллиты и сланцы (реже алевролиты и угли) — тонкоплитчатую и скорлуповатую отдельности размером от 2 до 15 см. При выветривании плотные разности песчаников и алевролитов образуют глыбы, щебень и дресву, конгломераты и гравелиты — щебень и глыбы, а аргиллиты и сланцы превращаются в тяжелый суглинок с примесью дресвы и щебня. Физические показатели пород угленосной формации Марковской впадины приведены в табл. 27.

Таблица 27

Физические свойства пород угленосной формации

Показатели	Породы		
	песчаник	алевролит	уголь
Плотность, г/см³ . .	2,27—2,81	2,3—2,32	1,677—1,942
Объемная масса, г/см³	1,99—2,04	1,94	1,277—1,542
Естественная пористость, % . .	30	22	33
Естественная влажность, % . .	12—29,5	4,2—13,6	18,54—30,84

Для песчаников и конгломератов Тауйско-Тайгоносской зоны характерен глинистый цемент базального типа и типа заполнения пор. В связи с этим у них низкие фильтрационные свойства, которые не превышают сотых долей метра в сутки. В невыветрелом состоянии породы плотные, коэффициент крепости 1—2. Плотность аргиллитов 2,56—2,84 г/см³; объемная масса 1,81—2,1 г/см³. Для конгломератов эти показатели соответственно 2,68—2,69 и 2,23—2,27 г/см³. Естественная влажность суглинков 25,7—31,7%, плотность — 2,62—2,63 г/см³, объемная масса — 1,89—1,91 г/см³. Для песков соответственно 14,3—20,9%; 2,65—2,68 и 1,92—2,72 г/см³. Угол естественного откоса под водой 26—30°, в сухом состоянии — 33—38°. Временное сопротивление сжатию (по единичным определениям) плотных песчаников $1000 \cdot 10^5$—$1620 \cdot 10^5$, реже до $2100 \cdot 10^5$ Па; алевролитов, аргиллитов и сланцев—$800 \cdot 10^5$—$1700 \cdot 10^5$; конгломератов и гравелитов — $680 \cdot 10^5$—$1500 \cdot 10^5$, редко до $3255 \cdot 10^5$ Па;

углей — до $300 \cdot 10^5$ Па. Коэффициент крепости песчаников 5—6, реже до 7; алевролитов, аргиллитов и сланцев — 2—4; конгломератов — 5—10, а выветрелых разностей — 1,5—2.

Контрастная базальт-липаритовая формация преимущественно эоценового возраста представлена базальтами, андезитами, липаритами, дацитами, туфами, туфопесчаниками, туфогенными конгломератами, реже терригенными породами. В составе формации преобладают эффузивы основного и среднего состава. Мощности слоев отдельных литологических разностей колеблются от 10 до 400 м. Чередование терригенных пород часто ритмичное при мощности слоев от 5—10 см до 10 м. Мощность отдельных горизонтов конгломератов и гравелитов от 5 до 100 м. Общая мощность формации 500—900 м. Породы характеризуются горизонтальным, реже слабонаклонным (до 5°) залеганием. Редкие разрывные тектонические нарушения образуют зоны дробления шириной 0,1—0,5 км.

Базальты и андезито-базальты крепкие и очень крепкие мелкозернистые массивные, реже пористые (величина пор 2—10 мм), шлакоподобные и миндалекаменные. Для них характерны столбчатая и шаровая отдельности. Андезиты, липариты и дациты крепкие с отдельностями неправильной формы. Туфы преимущественно крепкие и средней крепости. Конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты и сланцы обычно содержат туфовый материал. Осадочные разности обычно окварцованы и имеют повышенную крепость. Базальты и андезито-базальты в зоне выветривания разбиты сетью неориентированных (преобладают вертикальные и горизонтальные) открытых трещин, реже выполненных льдистым песчано-глинистым материалом или кальцитом. Ширина трещин 1—3 см, густота их от 15 до 75 на 1 м². В андезитах, дацитах, липаритах и их туфах преобладают крутопадающие (50—90°) трещины шириной 0,3—5 см, количество которых в среднем 30—50 на 1 м². Наиболее интенсивная трещиноватость отмечается до глубины 6 м.

В инженерно-геологическом отношении породы формации изучены слабо. Их физико-механические свойства (по единичным определениям) приведены в табл. 28.

Таблица 28

Физико-механические свойства пород базальт-липаритовой формации

Породы	Объемная масса, г/см³	Временное сопротивление сжатию, 10^5 Па	Коэффициент крепости
Базальты:			
плотные	2,64—2,75	1250—2186	15—20, реже 10
пористые	2,49—2,7	820—850	10—15
шлаковые	2,1—2,2	240—420	5—10
Андезиты	2,6—2,8	1080—2200	15—20, реже 10
Кислые эффузивы	2,55—2,8	1200—2000	10—15, реже до 20
Туфы	2,2—2,5	400—1080	6—10
Конгломераты	2,2—2,7	1200—1400	6—10
Гравелиты	2,4—2,6	1200—1400	6—10
Песчаники	2,3—2,7	1000—1700	6—10
Алевролиты	2,4—2,7	1800—1500	3—5
Сланцы	2,4—2,8	1000—1600	4—5

Озерно-аллювиальные и озерные верхнеплейстоценовые отложения слагают плоские аккумулятивные равнины, а также они развиты вдоль русел рек в виде останцов высоких (33—35 м) террас. Высокие террасы сложены легкими супесями следующего состава: фракций 0,25—0,1 мм от 30 до 64%, фракций 0,1—0,05 мм от 7 до 28% и фракций 0,05—0,01 мм от 3 до 29%. Супеси часто сменяются песками. Низкие озерно-аллювиальные равнины сложены незакономерно чередующимися песками, супесями, суглинками, галечниками, гравием, встречаются также глины и торф. Состав отложений непостоянный, прослои и слои, как правило, не выдержаны по простиранию. Суглинки пылеватые с содержанием глинистых частиц 10—20%, пылеватых — 42—67, песчаных — 17—43%, из них фракции 0,1—0,05 мм приходится от 13 до 29%. Супеси мелкозернистые с содержанием глинистых частиц 4—10%, пылеватых — 13—32, песчаных — 40—83, гравийных — 19—25%. Пески в основном тонкозернистые, реже разнозернистые (преобладают мелкозернистые), хорошо отсортированные, иловатые. Фракции 0,5—0,25 мм составляют 3—13%; фракции 0,25—0,1 мм — 24—59 и фракции 0,1—0,05 мм — 31—67%; пылеватых частиц — 2—10%. В гравийно-галечниковых разностях гальки размером 2—3 см содержится 30—60%; гравия (преимущественно крупного) — от 5 до 70%. Заполнитель — разнозернистый песок. Видимая мощность озерно-аллювиальных отложений 20—60 м, по Марковской скважине достигает 85 м. Физико-механические свойства по данным единичных анализов (Марковская, Парапольская впадины) приводятся в табл. 29.

Таблица 29

Физико-механические свойства озерно-аллювиальных отложений

Показатели	Песок	Супесь	Суглинок	Гравий	Галечник
Плотность, г/см³ . .	2,64—2,7	2,51—2,69	2,59—2,66	2,6—2,7	2,6—2,73
Объемная масса, г/см³	1,28—1,54	1,02—1,64	1,04—1,43	1,66—2,1	1,55—1,72
Пористость, % . . .	37—60	52—59	30—60	30—42	35—42
Влажность, % . . .	25—78	46	56	—	—
Пределы:					
текучести . . .	—	24	31—32	—	—
раскатывания . .	—	20	24—26	—	—
Число пластичности .	—	4	7—12	—	—
Коэффициент фильтрации, м/сут. . . .	1,8—6,5	—	—	56—92	—

Нормативное давление на мерзлые озерно-аллювиальные отложения при температуре минус 0,5° составляет $1{,}5 \cdot 10^5 — 6 \cdot 10^5$ Па, при температуре минус 1,5° оно увеличивается до $2{,}5 \cdot 10^5 — 9 \cdot 10^5$ Па и при температуре минус 4° достигает $5 \cdot 10^5 — 15 \cdot 10^5$ Па.

Озерные отложения мощностью 8—9 м, редко достигают 40 м, представлены глинами, супесями, песками с редкими прослоями галечников. Залегание пород линзовидное. Естественная влажность грунтов 19,5—32%. Максимальная влажность свойственна глинистым породам. Плотность супесчаных и глинистых образований 2,65—2,85 г/см³, песчаных — 2,6 г/см³. Объемная масса в предельно рыхлом состоянии для указанных грунтов равна соответственно 1,16—1,23 и 1,28 г/см³, в предельно плотном — 1,39—1,79 и 1,6 г/см³. Нормативное давление талых

грубообломочных отложений $4 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^5$ Па, талых тонкообломочных — $1{,}5 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^5$ Па.

Льдистость многолетиемерзлых супесчаных и суглинистых разностей достигает 78% и более. В тонкообломочных породах развиты жильные клиновидные льды мощностью 8—12, редко до 22 м (на высоких террасах). Грунты, обладающие большой льдистостью, при оттаивании под нагрузкой будут испытывать неравномерную осадку, достигающую 30—40 см/м.

Ледниковые и водно-ледниковые верхнеплейстоценовые отложения развиты преимущественно в Бельской, Парапольской и Гижигинской впадинах. Ледниковые отложения представлены несортированными бесструктурными суглинками и супесями с большим содержанием (30—70%) обломочного материала различной степени окатанности. Супеси содержат 9—10% глинистой фракции, 18—50 — песчаной, 41—72% пылеватой (фракции 0,05—0,1 мм содержится до 23%) (данные единичных анализов). Суглинки содержат 14—24% глинистой фракции, 31—73 — пылеватой и 8—53% песчаной с преобладанием фракции 0,05—0,1 мм. При приближении к горам состав отложений становится более грубым — здесь наблюдаются бесструктурные супеси и суглинки с плохо окатанным гравием и галькой, количество валунов увеличивается до 30—50%. Мощность отложений 10—20 м, а в отдельных грядах и валах (Бельская и Гижигинская впадины) достигает 80 м.

Водно-ледниковые отложения близки по составу ледниковым, но отличаются лучшей сортировкой материала. Преобладают галечники (до 70%), переслаивающиеся с хорошо промытыми гравийными и мелкогалечными прослоями, песчаными и торфяными линзами мощностью до 2 м. Пески мелко- и среднезернистые, иногда оторфованные, местами с гравием и галькой (15—25%). Валуны не превышают 5%. Вдоль восточного борта Парапольской впадины (долина р. Имлап) отложения представлены тоикими супесчано-суглинистыми разностями, содержащими включения обломочного материала до 20—30%. Водно-ледниковые отложения характеризуются большой фациальной изменчивостью. Наблюдается укрупнение материала при приближении к бортам впадин и вблизи ледниковых отложений. Материал плохо сортирован, реже наблюдается грубая горизонтальная слоистость. В инженерно-геологическом отношении отложения изучены слабо. Их физико-механические свойства (по данным единичных анализов) приведены в табл. 30.

Таблица 30

Физико-механические свойства водно-ледниковых отложений

Показатели	Песок	Супесь, суглинок	Галечник, гравий, щебень
Плотность, г/см³	2,57—2,72	2,15—2,77	2,63—2,77
Объемная масса, г/см³	1,34—1,84	1,25—1,89	1,7—1,96
Пористость, %	36—49	21—73	23—30
Влажность, %	15—33	12—64	2—10
Нормативное давление, 10^5 Па:			
мерзлых грунтов при температуре минус 0,5—1,5°	3—8	2—5	6—9
талых грунтов	2—4	2,5—3	3—6

Естественная влажность оторфованных песков 71—108%, торфа — от 12 до 165%. Породы мерзлые, сильнольдистые. Лед встречается в виде цемента, линз, прослоек, шлиров.

Аллювиальные верхнеплейстоценовые отложения слагают останцы II надпойменной террасы, занимающие небольшие площади. В их составе преобладают галечники с гравием и песком с прослоями валунников (1,5—2 м), которые с поверхности иногда перекрыты 3—4-метровым слоем песков, супесей или суглинков с прослоями торфа (0,5 м). Отложения горизонтально-слоистые, мощность отдельных прослоев 0,3—0,4 м. Галечники хорошо окатаны. Они содержат 65—75% гальки, преобладающий размер которой 2—5 см. Крупной гальки размером 7—10 см около 10%. Содержание гравия достигает 18—20%. Заполнитель (30—35%) представлен разнозернистым песком, супесью, реже суглинком. Пески средне- и мелкозернистые пылеватые, местами разнозернистые, рыхлые, образующие прослои мощностью 6—20 см. Они часто переслаиваются или фациально замещаются супесями. Плотность пылеватых песков 2,62—2,68 г/см^3, крупнозернистых — 2,67 г/см^3; объемная масса соответственно влажного грунта 1,71—1,78 и 1,56 г/см^3; скелета грунта — 1,43—1,88 и 1,19 г/см^3; пористость соответственно 43—47 и 50% (коэффициент пористости 0,8—0,9 и 1); влажность — 15—31 и 41%. Прослои супесей мощностью 5—8 см обычно содержат мелкие органические остатки до 15%. Суглинки с включением 25% гальки и гравия обычно образуют 2,5—3-метровые прослои. Плотность супесей 2,6 г/см^3, суглинков — 2,59 г/см^3; объемная масса соответственно влажного грунта 2,06 и 1,85 г/см^3, скелета грунта 1,67 и 1,28 г/см^3; пористость до 33 и 50%; влажность 20 и 40%. Отложения часто содержат жильные льды мощностью поверху 1—5 м, а по вертикали (видимая мощность) до 2,5—4 м. В мерзлом состоянии гравийно-галечниковый материал может выдерживать значительные давления: $1{,}5 \cdot 10^5$—$6 \cdot 10^5$ Па при температуре минус 0,5° и до $15 \cdot 10^5$ Па при температуре минус 4°.

Дельтовые верхнеплейстоценовые отложения развиты в приустьевых частях рек в пределах впадин, сложены галечниками, косослоистыми песками, суглинками с линзами торфа. На площади распространения многолетнемерзлых пород под торфом встречаются линзы льда мощностью до 3 м. Общая мощность отложений до 20—30 м. Плотность песков 2,5—2,76 г/см^3, суглинков — 2,65 г/см^3. Объемная масса песков в предельно-рыхлом состоянии 1,1—1,29 г/см^3, в предельно плотном — 1,42—1,64 г/см^3.

Естественная влажность песков 15,6—37%, галечников — 2,65—11,4, суглинков — 8,6—33,5, торфа 21,8—80%. Предел текучести для суглинистых разностей 17,9—23,8, предел раскатывания — 24,4—34,8.

Аллювиальные и пролювиальные голоценовые отложения представлены гравийно-галечниковым материалом с разнозернистым песком, реже песками с прослоями супесей, суглинков, илов, гравия. Общая мощность их 5—10 м, реже больше. Конусы выноса, развитые преимущественно вдоль бортов впадин, сложены более грубым материалом. В вершинах конусов преобладает крупный галечник с включением до 20% угловато-окатанной щебенки размером 5—7 см, в периферических частях — разнозернистые и гравелистые горизонтально-слоистые пески с включением 10—40% гальки и щебня.

В современном аллювии наблюдается невыдержанность мощностей отдельных литологических разностей, высокая неоднородная льдистость и различная плотность сложения (рис. 38). Пески преимущественно мелкие и средние, реже гравелистые, с небольшим содержанием гальки и гравия (от 5 до 20%). Илистые и песчаные грунты льнонасыщены и

распучены льдом. Гравелистые пески имеют преимущественно среднеплотное сложение. Физические свойства основных разностей описанных выше грунтов приводятся в табл. 31. Коэффициент фильтрации в естественном залегании для песков до 12 м/сут, галечников с супесчаным заполнителем — 20—30 м/сут, галечников с песчаным заполните-

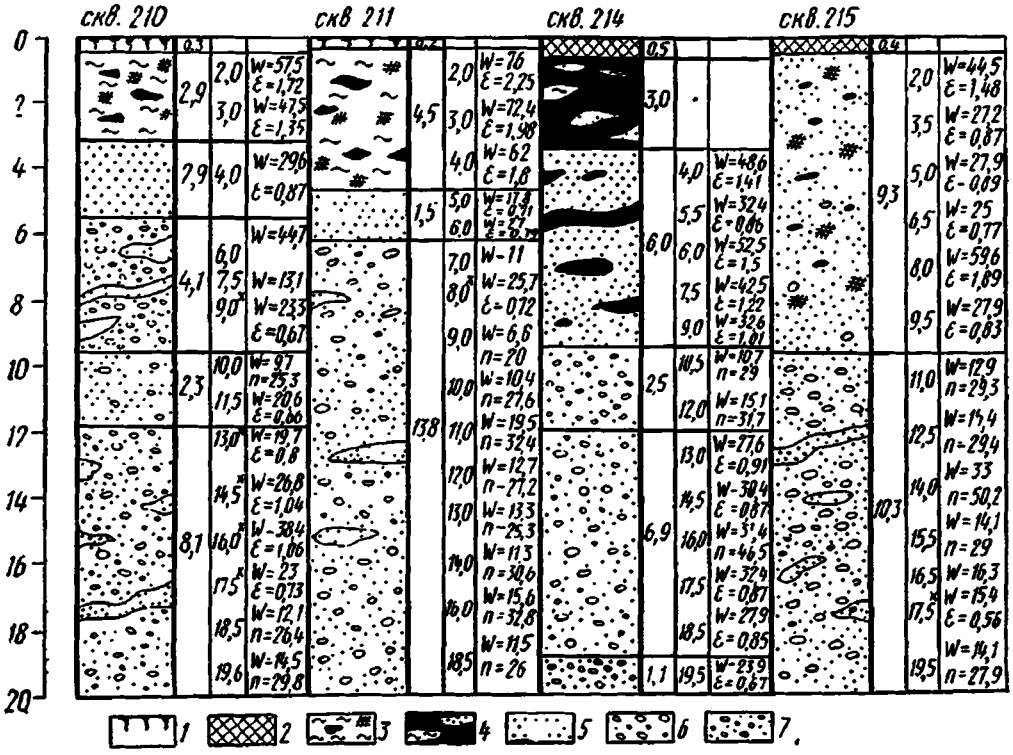


Рис. 38. Разрезы современных аллювиальных отложений I надпойменной террасы р. Анадырь в районе устья р. Утесики (по данным бурения Дальстройпроекта). Цифры в графах у колонок: 1 — мощность литологических горизонтов; 2 — глубина взятия образцов; 2^x — то же из линз и прослоев песка; 3 — показатели льдистости и пористости. Литологический состав: 1 — растительный слой; 2 — торф; 3 — ил, оторфованный с линзами льда; 4 — лед с прослоями ила и песка; 5 — песок с прослоями льда, местами оторфованный; 6 — галечник с разнозернистым песком; 7 — гравий с разнозернистым песком

лем — до 260 м/сут. Талые (в таликах) обводненные гравийно-галечниковые грунты имеют среднеплотное сложение, нормативное давление на них до $3 \cdot 10^5$ Па.

Озерно-болотные голоценовые отложения занимают небольшие площади (0,5—1 км^2). Они представлены иловатыми супесями и илами с отдельными тонкими прослоями торфа и суглинка (1—5 см). Иногда торф мощностью 0,5—1,2 м развит с поверхности. Мощность отложений до 3 м. Летом в слое сезонного протаивания отложения переувлажнены. При протаивании они полностью теряют свои несущие способности.

Современные склоновые отложения развиты в горной части региона. Обвально-осыпные отложения, встречающиеся небольшими участками на склонах гор крутизной более 35—40°, представлены остроугольными глыбами (60—70%), щебнем (20—30%), мелкоземом (не более 15%).

Таблица 31

Физические свойства аллювиальных и пролювиальных голоценовых отложений

Показатели	Песчаные грунты (47 анализов)	Гравийно-песчаные грунты с песчаным заполнителем (50 анализов)
Гранулометрический состав:		
галька и гравий	5—20,5	11,3—63,5 9,8—67,9
заполнитель	79,5—100	10,2—49,6
Объемная масса грунта, г/см³:		
влажного	1,42—1,98 1,75; ±0,134	1,76—2,24 2,09; ±0,086
скелета	0,8—1,62 1,25; ±0,21	1,32—2,12 1,8, ±0,138
Пористость, %	38,8—69,8 52,1; ±8,92	20—50,2 32,1; ±5,72
Коэффициент пористости	0,63—2,31 1,09; ±0,54	
Влажность, %	17,8—77,8 38,1; ±13,21	6,6—33 16,2; ±5,25
Степень влажности	0,72—1	

Примечание. См. табл. 25.

Осыпные и осыпно-солифлюкционные отложения развиты на склонах крутизной 15—30° сплошным, реже прерывистым чехлом мощностью до 3 м. При преобладании в разрезах песчаников и алевролитов развивается щебнисто-дресвяный и в меньшей степени глыбовый материал. Щебень плитчатой прямоугольной формы размером до 5—10 см, редко глыбы достигают 20—50 см. При выветривании пород вулканогенной формации на склонах развит глыбовый и щебнистый материал призматической, параллелепипедальной, реже пластинчатой формы. Размер глыб от 20 см до 1 м, щебня — 7—10 см. Процент супесчано-суглинистого заполнителя обычно увеличивается вниз по склону от 5—10 до 20—40%. Глыбово-щебнистые и дресвяно-щебнистые разности в многолетнемерзлом состоянии содержат большое количество льдистых включений (прослоек, линз), заполняющих пустоты породы. Большая льдистость и неоднородность состава приводят при протаивании к большим и неравномерным осадкам пород.

Делювиально-солифлюкционные отложения мощностью до 3 м распространены на склонах крутизной до 10, редко 15—20°. Они слагают также предгорные шлейфы, где мощность их возрастает до 5—7 м. Отложения представлены суглинками, супесями, иногда песками со щебнем, дресвой и мелкими глыбами, реже дресвяно-щебнистым материалом до 60—70% с супесчаным и суглинистым заполнителем. С глубиной количество обломочного материала обычно возрастает. Физические свойства отложений пос. Каменского, мерзлые с глубины 1,6—2,2 м, приведены в табл. 32.

Таблица 32

Физические свойства делювиально-солифлюкционных отложений из пос. Каменского
(по пяти скважинам)

Породы	Глубина взятия образца, м	Плотность, г/см³	Объемная масса, г/см³		Пористость, %	Коэффициент пористости	Естественная влажность, %	Пластичность			Консистенция
			при влажной породе	скелета грунта				предел текучести	предел раскатывания	число пластичности	
Суглинок	1,3	2,49	1,84	1,42	42,98	0,754	25,3	46,4	40	6,4	0
	3	—	—	—	—	—	37,2	39,9	31,1	8,8	0,75
	4,5	—	—	—	—	—	58,6	41,7	32,8	8,9	1
	5,5	—	—	—	—	—	—	52,1	40,2	11,9	—
	6	—	—	—	—	—	17,4—28,3	45,6—45,8	35,2—37,4	8,4—10,4	0
Супесь	0,5	2,63	2,19	1,72	34,6	0,529	27	26	21,5	4,5	1
	0,7	2,5	1,84	1,45	42	0,724	21,1	35,6	29,9	5,7	0
	1	2,53	1,57	1,2	52,57	1,108	20,1—32,2	36,2—36,6	34,1—23,1	4,8—5,5	1
	1,1	2,54—2,46	1,98—1,84	1,65—1,41	35,04—42,68	0,539—0,744	30,6	35,1	30,3	4,8	0,06
	1,5	2,43	1,79	1,39	42,8	0,748	29,4	44,1	37,8	6,3	0
	2	2,6	1,92	1,54	40,77	0,688	24,4	30,3	26,8	3,5	0
	3	—	—	—	—	—	34,8	41,4	35,9	5,5	0
	5	—	—	—	—	—	11,8	30,1	25	5,1	0
Щебнистый грунт с дресвой (заполнитель супесь)	2,5	—	—	—	—	—	—	32,9*	98,6	4,3	—
	4	—	—	—	—	—	13,4	27,7	25,7	2	0
	5	—	—	—	—	—	16,7	30,2	26,1	4,1	0

* Определение пределов пластичности относится к заполнителю.

Супеси и суглинки в слое сезонного протаивания обладают пластичной и текучей консистенцией; в мерзлом состоянии твердые, льдистые (до 40—60%); нормативное давление $4 \cdot 10^5$ Па. При протаивании под нагрузкой они теряют свою несущую способность.

Мерзлотно-гидрогеологические условия

Регионы расположены преимущественно в зонах сплошного и прерывистого распространения многолетнемерзлых пород. На побережье Охотского моря развита островная мерзлота.

Нарастание мощности многолетнемерзлых пород происходит с юга на север. Наименьшая мощность (2—20 м) зафиксироваиа в окрестностях бухты Нагаева. В предгорьях она повышается до 50—100 м, в северной части регионов — до 200—300 м, а в пределах Пенжинского хребта — предположительно до 500 м.

В зонах сплошного и прерывистого распространения мерзлых пород талики прослеживаются, в основном, под руслами крупных рек (Аиадырь, Белая, Энмываам и др.) и большими озерами. Ширина таликов 2,5—6 км, у пос. Марково достигает 15—20 км. Они захватывают пойму, иногда часть I надпойменной террасы. В нижнем течении большинства рек происходит сужеиие пойменных таликов до подрусловых. Исключение составляет долина р. Белой, где вплоть до устья функциоиирует пойменный талик. Под средними и малыми реками и озерами талики, как правило, несквозные. В зоне островной мерзлоты массивы мерзлых пород приурочены в основном к северным склонам возвышенностей. В днищах долин мерзлота отсутствует.

Температура многолетнемерзлых пород на уровие подошвы слоя годовых ее колебаний в северной части регионов минус 3—6°, на юге — не ниже минус 1—2°. В пределах Пеижинского хребта температура горных пород с высотой понижается с градиентом около 0,5—0,7°/100 м и, по-видимому, на наивысших точках хребта достигает минус 7°.

Глубина сезоннопротаивающего слоя изменяется от 0,1 до 4 м в зависимости от состава пород, условий температурного режима и других факторов. Минимальная глубина сезониого протаивания наблюдается на участках распространения пойменных и озерно-болотных отложений с мохово-торфяным покровом. Суглинки морского генезиса с моховым покровом протаивают иа глубину 0,8—1 м. Песчано-галечные отложения с травяным иокровом протаивают до 3 м и более. В горных районах глубина сезонного протаиваиия на северных склонах 0,1—0,7 м, на поверхности водоразделов до 2 м и на склонах южной экспозиции до 3 м.

Преимущественным распространением в регионе пользуются надмерзлотиые воды слоя сезонного протаивания и таликовые. Воды слоя сезонного протаиваиия встречаются почти повсеместно как в четвертичных отложениях различного генезиса, представлеиных преимущественно валунно-галечным и щебиисто-глыбовым материалом, реже супесями, песками и суглинками, так и в зоне выветривания дочетвертичных пород. Мощность водонасыщенного слоя 0,1—1,5 м. Преобладающая глубина до воды 0,1—1,6 м. Воды безнапорные, зимой перемерзают. Дебиты родников незначительны (0,01—0,5, реже до 2 л/с). Водопритоки в шурфы и колодцы 0,02—0,65 л/с при понижениях 0,1—0,4 м.

Воды сквозных и надмерзлотных таликов распространены в долинах рек, под озерами, а также в зонах тектонических нарушений и на склонах гор южной экспозиции. Мощность обводненных зон от 1 до 17 м, в интрузивных породах южной части п-ова Кони достигает 60 м. Глубина до воды от 1 до 4 м. Воды со сложным напорно-безнапорным режимом циркуляции. Дебиты родников варьируют от 0,5 до 35, чаще 1—3 л/с, производительность пластовых выходов воды до 50 л/с. Дебиты скважин, пройденных в нижнемеловых гранодиоритах и гранитах, составляют 0,8—1,1 л/с при понижении 3,7 м.

Для надмерзлотных вод регионов характерна невысокая минерализация (от 0,05 до 0,2 г/л). Химический состав их хлоридно-гидрокарбонатный, реже сульфатно-гидрокарбонатный, гидрокарбонатный и хлоридный, натриевый. В незначительных количествах присутствуют нитраты (0,3—6,1 мг/л). Воды в основном нейтральные и слабокислые (pH 5,4—8,2, чаще 6—6,5), общая жесткость изменяется от 0,1 до 1,4 мг·экв/л. Содержание свободной углекислоты колеблется от 44 до 57 мг/л, агрессивной — от 4 до 50 мг/л. Воды обладают общекислотной, углекислотной и выщелачивающей агрессивностью по отношению к бетону.

Подмерзлотные воды регионов практически не изучены. В пределах артезианских бассейнов известны источники подмерзлотных вод, выходящие, как правило, в руслах рек и действующие постоянно; их дебиты 2—4 л/с. Воды высоконапорные. Величина напора составляет от 100 до 200 м при глубине вскрытия вод 150—195 м. Минерализация вод от 0,5 до 3 г/л, химический состав хлоридно-гидрокарбонатный и гидрокарбонатный кальциево-натриевый.

Современные геологические процессы и явления

Сложное сочетание суровых климатических условий, наличия многолетней мерзлоты, тектонической активности территории, ее прибрежно-морского положения обусловливает большое разнообразие протекающих здесь геологических процессов и явлений: термокарст, солифлюкция, наледеобразование, заболачивание, обвалы, осыпи, оползни, курумы, абразия, снежные лавины.

Сильное переувлажнение грунтов и значительное нарушение сплошности растительного покрова часто приводят к типичным оползневым подвижкам, которые охватывают небольшие по размеру участки (быстрая солифлюкция). Примером могут служить оползневые подвижки на склонах Усть-Бельских гор. Оползни развиваются на склонах крутизной 20—45°. Обычно оползание грунтов происходит медленно по верхней поверхности мерзлых пород. Однако в результате инженерной деятельности человека темпы оползневых явлений увеличиваются. Так, летом 1969 г. при планировке площадки для бурового станка в склоне крутизной 25° была сделана полувыемка с высотой уступа 1,5 м. Через сутки произошло внезапное сползание талых пород, залегающих выше полувыемки, принесшее хозяйственный ущерб.

Специфическим мерзлотным явлением прибрежно-морской части территории является возникновение повторных перелетков мерзлых пород под воздействием деятельности человека. Сотрудниками института Дальстройпроекта установлено наличие мерзлых галечников под искусственно заливаемым катком, в то время как на окружающих площадках эти галечники талые. Известен также случай, когда на площад-

ке, занятой холодными складами, суглинки и супеси промерзали за несколько лет до 9 м.

Весьма характерна для района абразия, которая проявляется практически по всему побережью. Интенсивность этого процесса предопределяется большой штормовой активностью Охотского моря, высокими приливами. Особенно заметна абразия на участках побережья, представляющих в структурном отношении синклиналь, ось которой круто наклонена в сторону моря. В этом случае под действием гравитационных сил породы, слагающие ядро синклинали, соскальзывают вниз и интенсивно перерабатываются морскими волнами. При совокупном действии соскальзывания и абразии в морских берегах формируются циркообразные углубления, размер которых зависит от размеров синклинали. Наиболее отчетливо этот тип абразии наблюдался на побережье зал. Ушки в 1970 г.

Некоторым своеобразием отличаются и наледные процессы. Относительно повышенная дождевая орошаемость района, длительное существование талых грунтов на склонах гор благоприятствуют сохранению здесь водоносных пород до февраля, а в мягкие многоснежные зимы и до марта. При промерзании этих пород подземные воды на отдельных участках приобретают напор и, разгружаясь на поверхности, образуют наледи. Особенно активно процессы образования склоновых наледей происходят при подрезании склонов искусственными выемками, котлованами. Несмотря на небольшие размеры, наледи могут существенно затруднить эксплуатацию дорог и других линейных сооружений.

Во впадинах ведущими процессами являются заболачивание и термокарст. Заболачиванию способствуют избыточное увлажнение, незначительное испарение, слабая расчлененность рельефа и неглубокое залегание многолетнемерзлых пород. Термокарстовые воронки или озера, имеющие размеры от 10 до 1000 м и глубину 2—3 м, возникают при протаивании сильнольдистых отложений и подземных льдов. Росту термокарстовых озер способствует термоабразия, идущая со скоростью 15 м в год. К интенсивному развитию термокарстовых процессов приводит нарушение сплошности мохового покрова тракторами и вездеходами. Таким образом, в районе поселков Марково и Усть-Белая произошло образование термокарстовых канав и борозд, превратившихся затем в овраги.

В горной части регионов широко развито морозное выветривание, приводящее к разрушению к сильной трещиноватости пород в приповерхностном слое. Снос материала по склонам происходит под действием обвальных, осыпных и солифлюкционных процессов.

Следует также упомянуть о снежных лавинах, которые возможны на крутых горных склонах, лишенных растительности. Значительная часть площади регионов относится к области 7-балльных землетрясений. Следы недавних тектонических подвижек на побережье зал. Шельтинга проявлены достаточно хорошо и выражаются в наличии сбросов субширотного простирания со свежими зеркалами скольжения.

КОРЯКСКИЙ РЕГИОН

Регион расположен в пределах Корякского нагорья, тектонически совпадающего с одноименной складчатой зоной Охотской позднемезозойской складчатой области. Характерной особенностью рельефа ре-

гиона является наличие двух основных горпых массивов — Центрально-Корякского и Майно-Пылгинского, представляющих высокогорные вулканические плато (высота до 1600—1800 м, максимальная —2562 м) и радиально отходящих от них многочисленных среднегорных хребтов высотой 900—1300 м, постепенно переходящих к периферии в низкогорье с отметками до 500—700 м. Хребты обладают эрозионпым рельефом с элементами ледниковой экзарации и состоят из множества кулисообразио и параллельно расположенных мелких хребтов и гор, имеющих пилообразные гребни, остроконечные вершины, крутые (20—40°), местами обрывистыс склоны, расчлененные узкими глубокими промоинами. Выше снеговой линии (на абсолютной высоте более 500 м иа побережье и иа высоте 1400—1600 м в центральных районах нагорья) отмечаются многочисленные небольшие кары (площадью 3—4 км^2) и цирки с отвесными скалистыми склонами высотой до 300—600 м. Межгориые впадины (наиболее крупные Березовская, Средне-Хатырская, Верхие-Хатырская площадью до 2—3 тыс. км^2) характеризуются холмисто-моренным рельефом, в понижениях которого располагаются многочнсленные небольшие термокарстовые озера (до 0,5 км^2). Котловины многих бывших озер заболочены и запяты полигональной тундрой с широким развитием бугров пучепия. Такой же рельеф развит на отдельиых участках вдоль побережья Берингова моря (Майно-Пылгинская равнина и др.).

Реки региона в верховьях типичпо горного характера изобилуют теснинами, водопадами, порогами и перекатами. Долины их каньонообразной, щелевидной и V-образной форм. В среднем и нижнем течении реки более спокойные, долины (шириной до 15— 20 км) приобретают корытообразную форму. В долинах крупных рек (Хатырка, Укэлаят, Опуха и др.) пойма достигает высоты 1,5—2,5 м; I надпойменпая терраса высотой 3—4 м, шириной 0,5—2 км, II надпойменная терраса высотой 7—10 м прослеживается в виде нешироко̀й (до 500 м) полуразмытой ступени.

Морские берега высокие (от 100 до 600 м), крутые и скалистые, реже террасированные, полого спускающиеся к морю. Береговая линия изрезана фиордами и бухтами. Некоторые бухты и лагуны, отчлененные от моря песчапо-галечниковыми пересыпями и косами, превращены в замкнутые солоноватоводные лиманы и озера (Орианда, оз. Тюленье и др.).

Климат региона субарктический континентально-морской, характеризуется избыточным увлажнением, очень холодным летом и снежной зимой. В центральных горных районах отмечаются более ясная погода и резкие температуриые колебания в течение всего года, а для прибрежной частн — более постоянный температурный режим, сильпая облачность, частые туманы и дожди. Многолетняя среднегодовая температура воздуха нигде не превышает минус 2,5°, а в центральиых районах она понижается до минус 9°. Средиегодовое количество осадков 450—700 мм, причем основная их масса (до $^2/_3$ общих осадков) выпадает в теплый период года. Среднегодовая скорость ветра в центральпых районах 2—3 м/с, в приморских — до 7—9 м/с. Максимальная скорость ветра иа побережье превышает 40 м/с. Большая часть территории входит в зопу распространения прерывистой мерзлоты и лишь на юго-западе района развита островпая мерзлота.

На значительной части нагорья распространена осоково-лишайниковая тундра с отдельными гольцами, и лишь в пределах ннзкогорья около 50% площади покрыто кедровым стлаником.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

В тектоническом отношении регион представляет собой северную ветвь Охотской складчатой области — Корякскую складчатую зону, геосинклинальное развитие которой происходило в поздием мезозое и кайнозое. Основанием складчатой зоны (фундаментом) служат геосинклинальные образования среднего и верхнего палеозоя, представленные вулканогенно-кремнистой формацией, обнажающейся в тектонических блоках. Геосинклинальное развитие Корякской зоны началось на границе поздией юры и раннего мела. В позднеюрское и раннемеловое время, а на востоке региона в позднем мелу в морских условиях происходило накопление мощных осадков песчано-глинистой сероцветной формации. В это же время в отдельных прогибах осадконакопление сопровождалось подводными излияниями лав и выбросами пирокластического материала и формировались толщи вулканогенно-кремнистой терригенной формации. В сеноне, когда произошло наиболее интенсивное прогибание Корякской геосинклинали, на ее окраинах продолжалось накопление указанных выше толщ, а во внутренней части происходит образование песчано-глинистых осадков флишоидной формации. Одновременно с подводными излияниями лав в раннем и позднем мелу по трещинам местами происходили внедрения интрузий гипербазитов, габбро и диоритов. Начиная с позднего мела в Корякской зоне начинают преобладать восходящие движения и на месте обширного морского бассейна остаются узкие линейно-вытянутые впадины. В этих впадинах происходит накопление морских молассовых, а на северо-востоке региона — угленосных формаций. В постинверсионную стадию развития региона в палеогене и миоцене в отдельных прогибах продолжалось накопление молассовых формаций, а вдоль тектонических нарушений происходили внедрение интрузий и вулканические излияния. Максимум эффузивной деятельности с формированием пород андезито-липаритовой формации отмечается в средием-позднем миоцене, плиоцене и ранием плейстоцене. В позднеплейстоценовое время вся территория подверглась деиудации и оледенению, последнее в центральной части региона носило долинный характер, а в пониженных участках — полупокровный. В голоцене на месте долинных ледников остаются небольшие каровые леднички. Стадии оледенения чередовались с межстадиальными периодами потепления с накоплением водноледниковых образований в межгорных впадинах. В долинах рек в это время формируются аллювиальные, а по побережью Берингова моря — морские образования.

В современном структурном плане в Корякской складчатой зоне выделяется несколько крупных структурных элементов (рис. 39). Все структуры характеризуются значительной протяженностью (165—500 км) и преимущественным северо-восточным простиранием, осложнены складчатостью второго и более высоких порядков, а также разломами (надвигами и сбросами) с амплитудой до нескольких сотен метров. Разрывные нарушения обычно группируются в широкие зоны (до 10—20 км), длина которых достигает сотен километров, согласные с общим простиранием структур, реже они имеют северо-западное направление.

Вулканогенно-кремнистая формация среднего-позднего палеозоя выходит на поверхность в небольших тектонических блоках, главным образом в пределах Хатырского поднятия, и представлена яшмами и яшмокварцитами, перемежающимися с эффу-

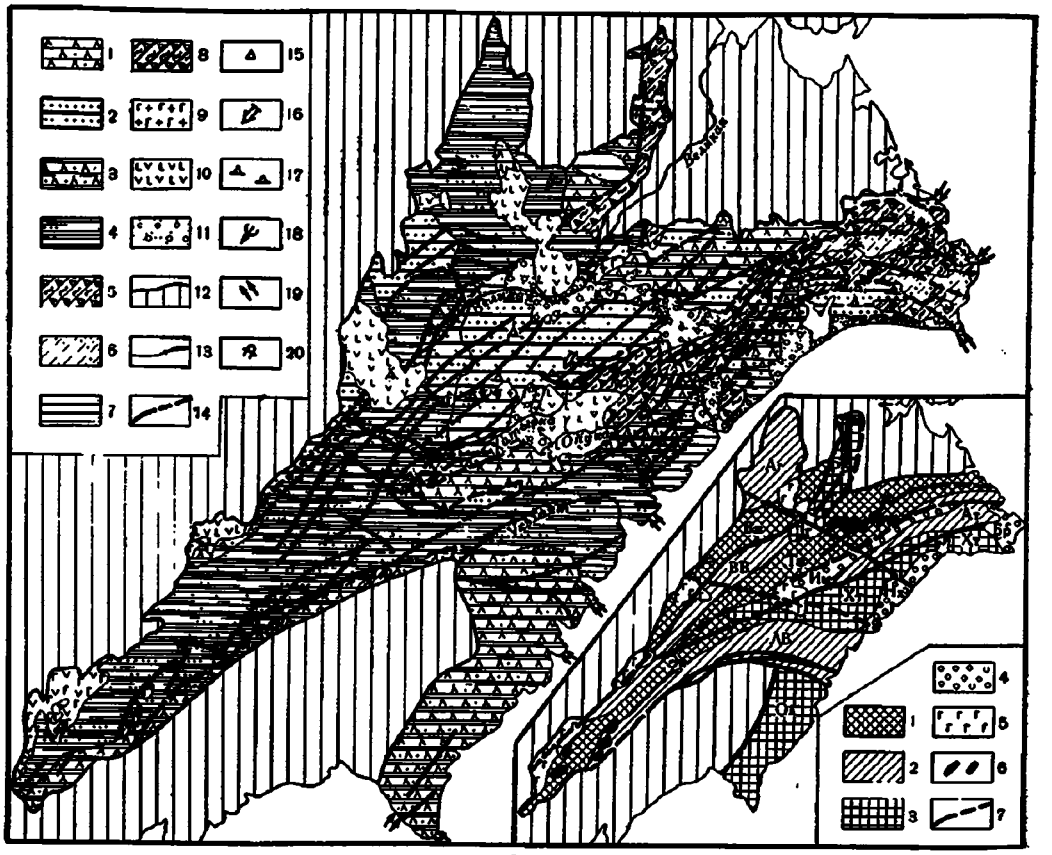


Рис. 39. Схема распространения основных инженерно-геологических формаций Корякского региона.

Формации: 1 — вулканогенно-кремнистая (PZ_{2-3}); 2 — песчано-глинистая сероцветная (J_3—К); 3 — вулканогенно-кремнисто-терригенная (J_3—К); 4 — песчано-глинистая флишоидная (K_2); 5—молассовая (K_2); 6—угленосная паралическая (P); 7 — песчано-глинистая сероцветная (P); 8 — молассовая (P — N); 9—интрузивные (PZ, MZ, KZ); 10 — андезито-липаритовая (N—Q); 11 — нерасчлененные четвертичные отложения; 12 — граница региона и сопредельные территории; 13 — границы формаций; 14 — тектонические нарушения. Физико-геологические явления: 15 — курумы, осыпи; 16 — снежные лавины; 17 — наледи; 18 — солифлюкция; 19 — абразия; 20 — ледники и фирны.

На врезке. Схема структурных элементов региона:

1 — антиклинории: Ваежский (Вж), Тамватнейский (Тв), Эпычаваямская антиклинальная зона (Эв); 2 — синклинории: Ватэтат-Великоречинский (ВВ), Алькатваамский (Ат), Лулу-Ватынский (ЛВ), Алганская синклинальная зона (Аг); 3 — поднятия: Рарыткинское (Рр), Олюторского п-ова (Ол), Хатырское (Хт); 4 — прогибы: Иомраутский (Им), Нижне-Хатырский (Нх), Беринговский (Бр); 5 — вулканические образования; 6 — интрузии; 7 — главные зоны разломов

зивными и пирокластическими образованиями. Второстепенная роль принадлежит кремнистым, кремнисто-глинистым сланцам, песчаникам и алевролитам, конгломератам, мощные пласты которых (до 200 м) преобладают в основании разреза, а также линзам мраморизованных известняков мощностью 12—20 м. Мощность формации 1400—3800 м. Породы интенсивно дислоцированы. Развитая в них сложная система напряженных линейных складок северо-восточного и субширотного простирания осложнена более мелкими наклонными асимметричными складками с углами падения пластов на крыльях 40—70°; местами наб-

людается запрокидывание слоев к юго-востоку. Часто отмечаются тектонические нарушения с зонами дробления и смятия шириной 0,1—3 км, с явлениями ороговикования и милонитизации. В породах формации наблюдается интенсивная трещиноватость по напластованию через 2—5 см и редкая трещиноватость перпендикулярно (через 0,4—1,5 м) ему. Трещины открытые (шириной до 1 см) или заполнены глинистым материалом (вблизи от поверхности). Кремнистые породы характеризуются высокой крепостью, массивным или тонкослоистым и плойчатым сложением, нередко пропизаны многочисленными топкими прожилками кварца, придающими им брекчиевидное строение. Спилиты, диабазы и порфириты крепкие, массивные, иногда рассланцованные, пронизанные различно ориентированными тончайшими прожилками кварца, кальцита и эпидота. Туфы менее крепкие, несколько рассланцованные, с шаровой, подушечной или крупноглыбовой отдельностями. Временное сопротивление сжатию кремнистых и эффузивных пород $1200 \cdot 10^5$ — $1800 \cdot 10^5$ Па.

Песчано-глинистая сероцветная формация позднеюрского и мелового возраста распространена в бассейне рек Великой, Ваеги, в районе оз. Пекульнейского и представлена песчаниками и алевролитами, переслаивающимися в различных соотношениях — от маломощных прослоев (от 5 см до 3,5 м), образующих пачки в 50—200 м, до слоев мощностью от 10 до 120 м. В нижней и верхней частях разреза содержатся прослои гравелитов и конгломератов мощностью 5—30 м (бассейн р. Ваеги). Местами встречаются туфы и покровы базальтов мощностью 3,5—5 м, а также маломощные прослои яшм (0,1—0,3 м), редкие линзы глинистых известняков (0,1×3 м) и известковистые конкреции шарообразной и каравасобразной форм (диаметром до 1 м). В районе оз. Пекульнейского широко развиты слапцеватые, реже массивные аргиллиты, кремнистые и кремнисто-глинистые сланцы. Мощность формации от 800 до 2000 м.

Породы собраны в крупные линейные складки преимущественно северо-восточного простирания, осложненные мелкими изоклинальными узкими складками с углами падения слоев на крыльях 20—80°; разбиты большим количеством согласных с простиранием складчатых структур разрывных нарушений значительной протяженности (до 180 км), секущих породы на ряд узких вытянутых блоков.

В породах преобладают трещины, расположенные согласно напластованию (через 3—50 см), наклоненные под углом 45—80°, и вертикальные. Вблизи поверхности трещины открытые шириной 1—5 мм или заполнены песчано-глинистым материалом, на глубине сомкнутые, скрытые. Песчаники и алевролиты в основном полимиктовые с глинистым или карбонатным цементом, горизонтально- и косослоистые, крепкие, отличаются плитчатой отдельностью — от тонкой (типа листоватой) до плитчато-глыбовой толщиной до 1 м. Временное сопротивление сжатию песчаников в сухом состоянии $1140 \cdot 10^5$—$1350 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $1050 \cdot 10^5$ — $1300 \cdot 10^5$ Па.

Вулканогенно-кремнисто-терригенная формация позднеюрского и мелового возраста широко распространена в юго-восточной и центральной частях Корякского нагорья. Она состоит из незакономерно чередующихся кремнистых пород (яшм, глинисто-кремнистых и кремнистых сланцев), эффузивов основного и среднего состава и их туфов, заключающих пачки алевролитов, песчаников, редкие пласты и линзы гравелитов, конгломератов, туффитов, мраморизованных известняков. Мощность формации 300—1700 м, на Олюторском п-ове до 4500 м.

Породы собраны в простые линейные складки с углами падения слоев на крыльях до 30°, нарушены многочисленными разломами, сопровождающимися зонами дробления пород шириной 100—1000 м. До глубины 1,5—2 м породы интенсивно трещиноваты. На 1 м² приходится 15—75 трещин, в основном согласных напластованию и перпендикулярных ему, открытых (шириной 1—3 см), реже выполненных песчано-глинистым материалом, иногда кальцитом. С глубиной породы становятся монолитными, практически нетрещиноватыми. Кремнистые породы формации массивные и полосчатые, обладают высокой прочностью и тонкоплитчатой отдельностью, при выветривании раскалываются на мелкие остроугольные обломки. Эффузивы массивные, реже пористые, очень крепкие с характерной столбчатой или блоковой (размером до 2,5×1×0,7 м), реже глыбовой или плитчатой (толщиной до 1 м) отдельностями. Туфы и туффиты плотные, средней крепости. Алевролиты и песчаники полимиктовые и туфогенные от мелко- до крупнозернистых, слоистые, массивные, редко слаицеватые, крепкие, с плитчатой отдельностью (толщиной 0,2—0,4 м). Временное сопротивление сжатию кремнистых пород $1200 \cdot 10^5$ — $1400 \cdot 10^5$ Па, эффузивных — $1400 \cdot 10^5$ — $2000 \cdot 10^5$ Па, туфов и туффитов — $400 \cdot 10^5$ — $820 \cdot 10^5$ Па, песчаников и алевролитов — $800 \cdot 10^5$ — $1200 \cdot 10^5$ Па.

Песчано-глинистая флишоидная формация позднемелового возраста широко распространена на западе региона. Слагающая ее толща песчаников, алевролитов и аргиллитов представляет собой непрерывное чередование двух- или трехкомпонентных ритмов мощностью от 0,3 до 2,5 м. Местами (в нижнем течении р. Укэлаят) ритмично-слоистые толщи состоят из мезоритмов мощностью от 20 до 150 м, которые нередко чередуются с пластами массивных песчаников мощностью 10—30, редко 300 м, гравелитов и конгломератов. Встречаются прослои (мощностью от 5 см до 5 м) и линзы (размером от 0,2×1,5 до 0,7×3 м) известняков, кремнисто-известковистых конкреций диаметром 0,2—0,3 м. Иногда отмечаются пласты базальтов, кварцевых порфиров и их туфов, редкие линзы и прослои кремнистых пород (0,2—0,8 м). Мощность формации возрастает в направлении с северо-востока на юго-запад от 800 до 2500 м.

Породы толщи отличаются сильной дислоцированностью, смяты в крутые складки (с углами падения пластов на крыльях 30—80°), часто асимметричные и изоклинальные северо-восточного простирания, осложненные складчатостью более высоких порядков и разрывными нарушениями, вблизи которых в породах наблюдаются интенсивное окварцевание и карбонатизация.

В породах кроме трещин по напластованию (через 15—40 см) отмечаются крутые и пологопадающие трещины северо-восточного и субмеридионального простирания с углами падения 40—80 и 5—15°. До глубины 2,5 м трещины открытые шириной 1—6 см или выполнены песчано-глинистым материалом, реже кальцитом. Песчаники полимиктовые или кварцево-полевошпатовые от мелко- до крупнозернистых, иногда гравелистые с глинистым, реже известково-кремнистым и пепловым цементом; алевролиты отличаются равномерно-зернистым сложением. Породы крепкие, массивные или слоистые, с плитчатой и местами скорлуповато-овальной отдельностями. Аргиллиты крепкие, иногда хрупкие с тонкоплитчатой и мелкооскольчатой отдельностями. Временное сопротивление сжатию песчаников в сухом состоянии $1140 \cdot 10^5$ — $1350 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $1050 \cdot 10^5$ — $1300 \cdot 10^5$ Па.

Молассовая формация позднемелового возраста развита в пределах Рарыткинского поднятия и в северо-восточной

части Алькатваамского синклинория и сложена переслаивающимися между собой песчаниками и алевролитами мощностью прослоев от 10 до 150 м, включающими прослои до 3 м конгломератов, гравелитов, аргиллитов, углисто-глинистых слаицев, линзы глинистого известняка размером до 0,1×0,4 м, редкие пласты туфов до 0,2 м и каменного угля до 2,5 м, местами (оз. Пекульпсйское) — маломощные покровы основных эффузивов, туфолав и лавобрекчий. В целом для разреза характерно огрубение материала сверху вниз. Мощность формации 940—2000 м. Породы смяты в мелкие пологие складки с углами падения пород на крыльях до 15°.

Песчаники и алевролиты крепкие, слоистые и массивные, по составу близки к породам флишоидной формации; имеют плитчатую отдельность с толщиной 5—80 см. Конгломераты от мелко- до крупногалечных, постепенно переходящие в гравелиты, имеют глыбовую отдельность, состоят из хорошо окатанной гальки эффузивов, реже песчаников и аргиллитов, заключенных в крепкий кварцево-хлоритовый или песчаниковый цемент (10—40% объема). Временное сопротивление сжатию песчаников и алевролитов $800 \cdot 10^5$ — $1620 \cdot 10^5$ Па, конгломератов и гравелитов — $680 \cdot 10^5$ — $1500 \cdot 10^5$ Па.

Угленосная паралическая формация палеогена развита только в пределах Беринговского и северной части Иомраутского прогибов и представлена песчаниками и алевролитами, перемежающимися с аргиллитами, глинистыми и углисто-глинистыми сланцами, с мощностью прослоев от нескольких сантиметров до 20—80 м, местами (бухта Угольная и лагуна Орианда) с пластами каменного угля до 0,4—2,5 м. Изредка в разрезах толщи встречаются прослои туфов, туфитов и линзы конгломератов мощностью от нескольких сантиметров до 3, редко достигают 20 м. Мощность формации 1560—3500 м.

Породы формации залегают почти горизонтально. До глубины 20 м они разбиты горизонтальными и вертикальными трещинами выветривания шириной до 2—4 мм.

Песчаники и алевролиты массивные, горизонтально- и косослоистые, полимиктовые, иногда углистые, содержат множество известковистых конкреций диаметром до 0,7—1 м; до глубины 3,5—4 м разбиты на щебень и мелкие обломки (до 5×5×5 см), иногда разрушаются до состояния песков. Песчаники бухты Угольной (данные Дальстройпроекта) объемной массой 2,2—2,52 г/см^3. Водопоглощение 0,36—4,49%; временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $923 \cdot 10^5$ — $2033 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $674 \cdot 10^5$ — $2274 \cdot 10^5$ Па.

Глинистые сланцы и аргиллиты легко выветриваются и рассыпаются на мелкие остроугольные обломки размером 0,5—2 см или превращаются в глинистую плотную массу с включением щебенки. Временное сопротивление сжатию $400 \cdot 10^5$ — $1000 \cdot 10^5$ Па.

Песчано-глинистая сероцветная формация палеогена распространена узкой полосой по побережью Берингова моря и представлена в основном аргиллитами (60% объема) с подчиненными прослоями песчаников и алевролитов мощностью 0,1—0,5 м, местами с большим количеством мергелистых конкреций диаметром 0,3—1 м. В нижней и верхней частях разреза залегают пачки (270—350 м) перемежающихся между собой песчаников и алевролитов (мощность прослоев 0,1—2 м), заключающие редкие горизонты аргиллитов, мелкогалечных конгломератов и гравелитов мощностью 1,5—3 м. Между мысами Хатырка и Пятнистым аргиллиты замещаются мощной (3000—4000 м) монотонной толщей песчаников, содержащих иногда прослои мелкогалечных конгломератов или алевролитов 1,5—2 м. Мощность

формации 750—1200 м, на участке мысов Хатырка и Пятнистого достигает 2500—6000 м.

Породы слабо дислоцированы — смяты в пологие и широкие линейные или брахиморфные складки с наклоном крыльев до 10—40°.

Аргиллиты хрупкие, тонкослоистые и массивные со скорлуповатой отдельностью, к верхам толщи в направлении к востоку сменяются уплотненными глинами с остроугольно-оскольчатой отдельностью; с поверхности размокают и превращаются в пластичные глины. Временное сопротивление сжатию аргиллитов $400 \cdot 10^5$ — $1000 \cdot 10^5$ Па, плотных глин в сухом состоянии до $200 \cdot 10^5$ Па. Песчаники мелко- и среднезернистые, полимиктовые, крепкие, иногда слабо сцементированные, тонко- и толстоплитчатые, при выветривании превращаются в рыхлые пески. Временное сопротивление сжатию крепких разностей песчаников $800 \cdot 10^5$ — $1400 \cdot 10^5$ Па, слабо уплотненных и выветрелых — до $200 \cdot 10^5$ Па.

Молассовая формация палеоген-неогенового возраста выполняет юго-западную часть Иомраутского прогиба, а также развита в низовьях р. Хатырки и у оз. Кайпыльгин. Формация сложена незакономерно переслаивающимися, замещающими друг друга по простиранию песчаниками, алевролитами, аргиллитами, конгломератами общей мощностью 1100—1900 м. Породы залегают почти горизонтально или дислоцированы в пологие складки.

Песчаники и алевролиты полимиктовые, слоистые и массивные, крепкие и слабые, местами содержат многочисленные известковистые конкреции диаметром 0,1—0,5 м; разрушаясь, превращаются в песок.

Конгломераты крепкие и слабо сцементированные, состоят из галек и валунов эффузивов и кремнистых пород с гравийно-песчано-глинистым цементом.

Аргиллиты хрупкие, с тонкоплитчатой отдельностью образуют мелкооскольчатую щебенку, размокающую при увлажнении. Временное сопротивление сжатию в сухом состоянии конгломератов $680 \cdot 10^5$ — $1500 \cdot 10^5$ Па, крепких песчаников и алевролитов — $800 \cdot 10^5$—$1620 \cdot 10^5$, слабых разностей — до $200 \cdot 10^5$, аргиллитов — $400 \cdot 10^5$ — $1000 \cdot 10^5$ Па.

Группа интрузивных формаций палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста объединяет породы гипербазит-габбровой и гранитоидной формаций. Первые, представленные перидотитами, пироксенитами, дунитами и габбро, слагают ряд вытянутых в северо-восточном направлении массивов площадью 20—80 км², максимум 265 км² на Хатырском, Рарыткинском и Олюторском поднятиях.

Гранитоиды (граниты, плагиограниты, гранит-порфиры) распространены значительно меньше и образуют редкие мелкие штоки и дайки до 5 км² в разных частях региона. Все породы крепкие, массивные, разбиты вертикальными и крутопадающими трещинами северо-восточного и северо-западного направлений на параллелепипедальные и прямоугольные блоки размером до 2,5×4 м, плитчатые и остроугольные глыбы размером от 0,5×1 до 1,5×2 м и в меньшем количестве — на щебень и дресву.

Временное сопротивление сжатию основных и ультраосновных интрузивных пород $1600 \cdot 10^5$ — $2500 \cdot 10^5$ Па, средних и кислых — $1300 \cdot 10^5$ — $1600 \cdot 10^5$ Па.

Породы андезит-липаритовой формации неоген-четвертичного возраста слагают ряд плато в районе гор Пархонай и Элекай, Хатырское, Южно-Майнское и представлены покровами андезитов, андезито-базальтов, базальтов, реже дацитов, липари-

тов мощностью 20—40 м, перемежающимися между собой и с лавобрекчиями и туфами аналогичного состава. Мощность формации от 600 до 1400 м.

Породы залегают почти горизонтально или слабонаклонно, местами собраны в куполовидные складки с падением пород на крыльях 10—15°. С поверхности породы разбиты вертикальными (через 1—3 м) и горизонтальными (через 0,05—0,3 м) открытыми трещинами на крупные глыбы и блоки размером до 2×3×3 м или пластинчатые обломки толщиной 5—30 см. Эффузивные породы крепкие, массивные, плотные или пористые (пористость базальтов от 5 до 40% в шлаковидных разностях). Туфы состоят из угловатых обломков эффузивов, заключенных в пепловый и стекловатый цемент, лавобрекчии — из крупных (0,8—1,2 м) обломков глыб (30—70%), сцементированных массивными или пористыми лавами среднего и основного состава. Объемная масса массивных разностей андезитов и базальтов 3—3,3 г/см^3, туфов и лавобрекчий — 2,7—3,1 г/см^3. Временное сопротивление сжатию массивных разностей эффузивов $1250 \cdot 10^5$ — $2130 \cdot 10^5$ Па, пористых — $820 \cdot 10^5$ — $850 \cdot 10^5$, шлаковых — $240 \cdot 10^5$ — $420 \cdot 10^5$, туфов — $400 \cdot 10^5$ — $1080 \cdot 10^5$ Па.

Ледниковые и водно-ледниковые образования плейстоцена и голоцена выполняют преимущественно межгорные впадины. Представлены плотными валунными суглинками и супесями с содержанием обломочного материала до 40%, в горах и в конечно-моренных грядах преобладают мелко- и крупнообломочный щебень, угловатая галька и валуны, реже суглинки с обломочным материалом. Мощность ледниковых отложений 10—50 м. Зандровые поля, присклоновые террасы и камовые холмы сложены в нижней части плотными ленточными глинами и суглинками мощностью до 2,5 м, выше — глинистыми песками с мелкой галькой и переслаивающимися пачками супесей, песков, гравия и галечника мощностью до 3—4 м. Местами встречается плохо отсортированный галечно-валунный материал с примесью 40—50% суглинка, реже супеси и песка. В долине р. Хатырки (Дальстройпроект, 1961—1972) содержание галечной фракции достигает 60—80%, гравийной — 9—22, песчаной — 17—34, пылеватой — 2—40 и глинистой — 1—4%. Мощность водно-ледниковых отложений 35—50 м. В породах присутствует лед в виде цемента, отдельных линз и прослоев мощностью до 2 м. Суглинистая морена имеет высокую льдистость (не менее 30%), толстошлировую криогенную текстуру, горизонтально-слоистую вверху и сетчато-слоистую и сетчатую внизу, суглинки в летнее время в пределах деятельного слоя находятся в пластичном состоянии.

Морские и прибрежно-морские отложения плейстоцена и голоцена наблюдаются в районах м. Наварин, устья р. Хатырки, оз. Пекульнейского и др. Они слагают морские террасы высотой 6 м, 15, 20 и 40—60 м, косы, пересыпи и пляжи. В террасах преобладают тонко- и мелкозернистые косослоистые рыхлые и уплотненные пески, которые в виде пачек мощностью до 3,5—15 м перемежаются с 6—10-метровыми прослоями мелкого галечника и гравийно-галечникового материала, реже супесей, суглинков мощностью до 2,5—7 м. Косы, пересыпи и пляжи сложены песками, галечниками и гравием. Мощность отложений на террасах достигает 60 м, на пляжах — 6—10 м.

Аллювиальные отложения плейстоцена и голоцена слагают пойму и надпойменные террасы высотой от 4 до 30 м. В разрезах преобладают галечники или гравийно-галечниковые отложения, перемежающиеся с песками, супесями, реже суглинками. Мощность прослоев 0,1—1,9 м. Высокие террасы сложены большей частью суглинками с обломочным материалом до 20%. Мощность аллювия 4—30 м. Пески рых-

лые, местами за счет ожелезнения слабо уплотненные, супеси плотные, суглинки пластичные. Физические свойства аллювиальных отложений приведены в табл. 33.

Таблица 33

Физические свойства четвертичных отложений, развитых на участках поселков Хатырка и Беринговский

(данные Дальстройпроекта)

Возраст	Породы	Плотность, г/см³	Объемная масса, г/см³	Пористость, %	Число пластичности	Естественная влажность, %	Весовая льдистость, %
а Q_{III-IV}	Гравийно-галечниковые	1,75—1,96	1,48—2,33	—	—	2,1—19,1	2—18,7
То же	Супесь	2,65	1,52	—	—	44—53,7	—
»	Суглинок	2,55—2,74	1,33—1,95	—	—	13—48,7	—
с Q_{IV}	Дресвяно-щебнистые	—	2—2,3	—	—	—	—
То же	Супесь с обломками	2,69—2,73	1,32—1,86	35,5—58,1	5,7—6,78	14,9—93,3	18,1—66,5
»	Суглинок с обломками	2,6—2,75	1,36—1,95	36,6—63,7	8,1—21	10,9—71,1	35—93,3

Образования склонового ряда позднего плейстоцена-голоцена в верхнем поясе хребтов представлены преимущественно гравитационными образованиями: глыбами, щебнем, иногда с мелкоземом до 15% мощностью до 10 м. В нижней части склонов развиты делювиально-солифлюкционные отложения мощностью до 15—20 м: супеси, суглинки, реже пески с включением дресвы, щебня и мелких глыб до 10—40%, местами дресвяно-щебнистый материал с супесчаным, суглинистым и песчаным заполнителем. У подножия склонов низких гор встречаются мощные (до 5—10 м) конусы выноса, сложенные щебнисто-глыбовым материалом. Отложения содержат большое количество льдистых включений в виде прослоев и небольших линз мощностью 1—2 мм, редко до 0,5 м. При оттаивании суглинки и супеси приобретают текучую консистенцию. Физические свойства склоновых отложений приведены также в табл. 33. Нормативное давление на талую породу $1{,}5 \cdot 10^5$ — $5 \cdot 10^5$ Па.

Мерзлотно-гидрогеологические условия

Гидрогеологическое строение региона во многом определяется его мерзлотными условиями. Мощность толщи мерзлых отложений 100—150, реже до 300 м. Температура их изменяется от минус 0,5 — 1° в окраинной зоне до минус 3—5° в центральной высокогорной части региона. Понижение температуры горных пород происходит от подножий гор к их вершинам с градиентом 0,5—0,7° на 100 м. Мощность деятельного слоя от 0,5 до 2, местами до 3 м. Под крупными реками и озерами существуют талики. В пределах сквозных и устойчивых таликов в аллювиальных гравийно-галечных отложениях подземные воды образуют мощные подрусловые потоки шириной до 1,5—2 км. Воды безнапорные, глубина залегания их не более 1,5, обычно 0,5 м. Водоносный комплекс гидравлически тесно связан с поверхностными водотоками и

характеризуется хлоридно-гидрокарбонатным и гидрокарбонатным кальциево-натриевым и натриево-кальциевым составом, с минерализацией не более 0,2 г/л; pH 5,4—7,4; содержание свободной углекислоты 11—53 мг/л, гидрокарбонат-иона — 14—66,2 мг·экв/л. Воды обладают выщелачивающей и слабой общекислотной агрессивностью по отношению к бетонным и железобетонным конструкциям. Водно-ледниковые, ледниковые и склоновые отложения обводнены эпизодически преимущественно в пределах сезонопротаивающего слоя мощностью 1,5—2,5 м. Постоянные водоносные горизонты могут формироваться в конусах выноса, делювиальных шлейфах и развалах, где иногда образуются устойчивые таликовые зоны. Химический состав вод гидрокарбонатно-натриевый, минерализация до 0,1—0,13 г/л; pH 6,2—6,9, реже достигает 7,6; содержание гидрокарбонат-иона обычно менее 1 мг·экв/л, свободной углекислоты — 16—66 мг/л. Воды обладают выщелачивающей и слабой общекислотной агрессивностью по отношению к бетонным и железобетонным конструкциям.

Морские песчано-галечные отложения в пределах кос обводнены с глубины до 1—2 м, зимой уровень снижается до 3,5 м. Мощность водоносного горизонта до 10 м. Воды безнапорные. На террасах отложения обводнены, как правило, только в пределах деятельного слоя. Дебиты источников 0,6—1 л/с. Химический состав подземных вод пестрый, чаще гидрокарбонатно-хлоридный кальциево-натриевый; pH 6,8—7,8; содержание гидрокарбонат-иона 0,4—1,6 мг·экв/л, свободной углекислоты — 26,0—116,0 мг/л. Воды обладают выщелачивающей агрессивностью по отношению к бетону.

Ниже подошвы многолетнемерзлых пород в пределах Корякского нагорья распространены подмерзлотные воды. Водоносные комплексы терригенных образований неогена, палеогена и позднего мела характеризуются порово-пластовым типом обводнения. Воды напорные. Участки разгрузки приурочены к зонам тектонических разломов, к прибрежной морской полосе, к руслам и пойменным частям речных долин. Источники восходящие, постоянно действующие, встречаются не выше отметок 180 м. Дебиты родников 0,1—2 л/с, при пластовых выходах — 7—10 л/с. Минерализация вод 0,1—0,8 г/л; химический состав хлоридно-гидрокарбонатный и гидрокарбонатный; содержание гидрокарбонат-иона 0,8—7,6 мг·экв/л, свободной углекислоты — 11—42,3 мг/л и сероводорода от 3 до 4,0 мг/л. Воды не обладают агрессивными свойствами.

Подмерзлотные водоносные комплексы вулканогенных и кремнисто-вулканогенных образований характеризуются преимущественно пластово-трещинным и локально-трещинным типом обводнения по зонам тектонических разломов. Разгрузка их осуществляется в долины рек и, возможно, в море. Дебиты источников 0,1—4 л/с. Источники восходящие, действуют постоянно, зимой образуют наледи. Химический состав подземных вод сульфатно-гидрокарбонатный и гидрокарбонатный кальциево-натриевый или магниевый; минерализация 0,17—0,29 г/л; содержание гидрокарбонат-иона до 2,5 мг·экв/л. Воды не обладают агрессивными свойствами.

Современные геологические процессы и явления

В сильно расчлененной средне- и высокогорной частях Корякского нагорья на высоте более 1200—1300 м широко развито физическое

выветривание пород, способствующее образованию обширных осыпей размером до 300×500 м и отвесных уступов высотой 100—400 м.

На севере региона на невысоких выположенных водоразделах и на пологих склонах южной экспозиции, а также в районе бухты Угольной развита солифлюкция, приводящая к образованию террас и шлейфов высотой до 10—20 м, небольших валов и земляных или каменных рек. Скорость оползания грунтов в пос. Хатырка на северных пологих склонах в сезон изменяется от дециметров до десятков метров. Вблизи хр. Укэлаят каменные реки в виде изогнутых валиков шириной до 100 м спускаются по уклонам распадков и небольших долин на протяжении 3 км. Достигая долины р. Хатырки, они нередко перегораживают ее. Подобные же явления наблюдаются по долинам рек Великой, Ватына и др.

В межгорных впадинах и долинах рек распространены многочисленные мелкие термокарстовые озера.

По побережью Берингова моря на обрывистых участках, сложенных рыхлыми породами, в результате вытаивания линз погребенного льда происходит оползание береговых уступов, образование ниш и байджарахов (земляных холмиков). На скалистых мысах проявляется морская абразия. Абразионные уступы достигают высоты 600 м, в них образуются неглубокие ниши и пещеры.

В центральной и восточной частях региона в долинах небольших рек широко распространены сезонные и многолетние наледи площадью от 0,5 до 10 км^2, мощностью 1,5—6 м.

В среднегорье, преимущественно на восточных склонах хребтов, весной наблюдается сход снежных лавин.

АНАДЫРСКИЙ РЕГИОН

Регион включает Нижне-Анадырскую впадину, Золотогорское поднятие, Койнатхунскую и Конергинскую низменности.

Рельеф территории преимущественно равнинный с абсолютными высотами от 1—5 м в прибрежной части до 150 м у предгорий. Около 50% площади региона занято холмисто-волнистыми ледниковыми равнинами, а в центральной части (вдоль Анадырского лимана и зал. Онемен) развиты плоские водно-ледниковые и озерно-ледниковые равнины. Низменности интенсивно расчленены многочисленными реками и озерами, врезанными на 10—70 м, на отдельных участках заболочены. В долинах крупных рек развиты I и II и III надпойменные террасы высотой соответственно 3—5 м, 6—12 и 12—25 м и поймы высотой от 0,5 до 4 м. В прибрежной части прослеживаются три морские террасы высотой соответственно 6—12 м, 20—30 и 50—70 м и морские косы длиной 20—80 км, шириной 0,5—2 км. На Золотогорском поднятии (Золотой хребет, Ушканий кряж) преобладают абсолютные высоты 400—700 м и относительные — 200—400 м. Вершины и водоразделы низких гор сглаженные, куполообразные, склоны крутизной 20—25°. На равнине встречаются отдельные останцовые горы высотой 280—570 м.

Наиболее крупные реки региона (Анадырь, Таюрер, Канчалан, Великая и Туманская) с шириной долин от 0,2—0,7 (при пересечении гряд и холмов) до 15—30 км и глубиной от 2 до 33 м (р. Анадырь). Озера занимают до 40% площади региона, размеры их до 1,5—2 км в поперечнике, глубина до 5—7 м. Береговая линия изрезана слабо. Преобладают низкие обрывистые и лагунно-косовые берега высотой от 3 до 25 м.

Климат умеренно континентальный и морской, характеризующийся избыточным увлажнением, с холодным летом и снежной зимой. Среднегодовая температура воздуха от минус 7,1—7,7° на побережье до минус 8,2—8,9° на остальной территории, с абсолютными минимумами — 44—54°. Количество годовых осадков 283—341 мм. Среднегодовые скорости ветра 3,5—6,9 м/с, максимальные — 35—50 м/с. Повсеместно развита низкотемпературная многолетняя мерзлота.

В пределах региона распространены тундровые ландшафты со скудной травянисто-лишайниково-моховой растительностью.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Нижне-Анадырская впадина выполнена прибрежно-морскими и континентальными (молассовая формация), реже вулканическими (базальт-липаритовая формация) кайнозойскими породами мощностью 1000—3500 м, перекрытыми с поверхности чехлом плейстоцен-голоценовых осадков мощностью до 200 м, в мульдах и тектонических депрессиях — 500—550 м. В пределах Золотогорского поднятия и на останцовых возвышенностях распространены незначительно породы гранитоидной формации позднего мела. Из плейстоценовых осадков наиболее развиты верхнеплейстоценовые ледниковые, водно- и озерно-ледниковые отложения, из голоценовых — аллювиальные и морские (рис. 40).

Молассовая формация кайнозойского возраста выходит на поверхность лишь в долинах отдельных рек и вдоль морского побережья. Наиболее полные ее разрезы вскрыты скважинами в междуречье Великой и Туманской с глубины 43—194 м (Преображенская, 1972).

Континентальные угленосные отложения нижней части разреза формации (эоцен-олигоцен) выходят на поверхность в районе зал. Онемен и Анадырского лимана, по р. Анадырь, вдоль восточного склона хр. Пекульней, где они представлены кварц-полевошпатовыми интенсивно-выветрелыми и каолинизированными песчаниками, в меньшей степени конгломератами, алевролитами, аргиллитами с пластами угля (до 3 м) и гравелитами общей мощностью 900—1500 м. Физико-механические свойства песчаников и алевролитов, вскрытых скважинами на р. Казачке с глубины 32—37 м (Гольц, 1972), приведены ниже.

Плотность, г/см³	2,66—2,75 (15)
Объемная масса, г/см³	1,91—2,08 (15)
Объемная масса скелета, г/см³	1,56—1,8 (15)
Пористость, %	33,5—43,2 (15)
Коэффициент пористости	0,5—0,76 (15)
Суммарная влажность, %	18 (58)
Количество замерзшей воды, %	9 (60)
Весовая льдистость, %	9 (58)
Степень заполнения	0,69—0,91 (15)

Примечание. В скобках дано число определений.

В средней части разреза формации развиты морские и прибрежно-морские отложения (неоген) мощностью до 1070 м, состоящие из незакономерно чередующихся песчаников, алевролитов, аргиллитов, песков, глин и лигнитов. Отложения, венчающие разрез морской молассы (плиоцен) и выходящие на поверхность севернее Анадырского лимана, представлены слабо сцементированными песчаниками и конгломератами мощностью до 200 м.

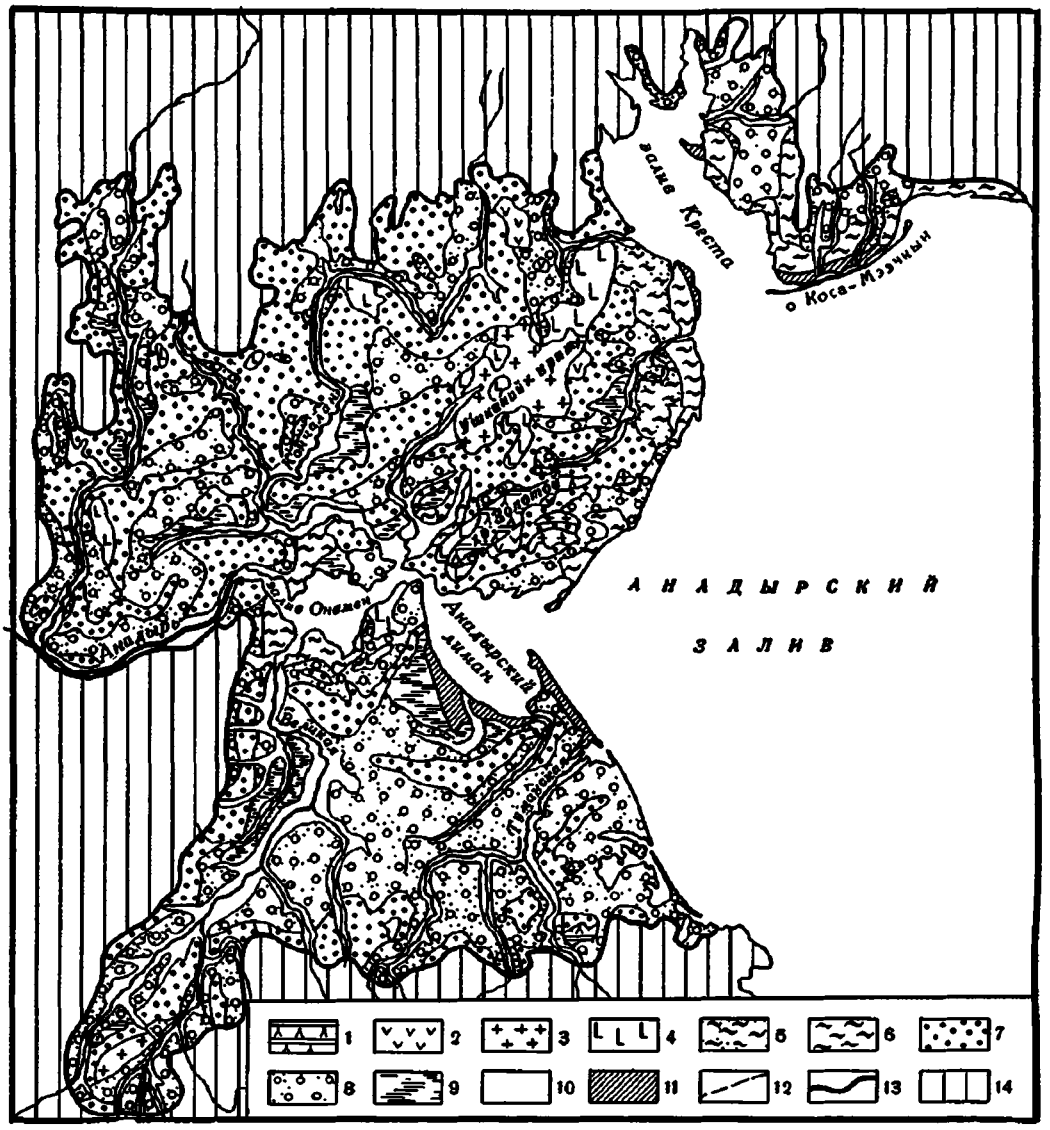


Рис. 40. Схема распространения основных инженерно-геологических формаций и геолого-генетических комплексов четвертичных отложений Анадырского региона
Формации: 1 — вулканогенно кремнисто-терригенная и терригенная флишоидная (K_1); 2 — андезито-базальтовая (K_2); 3 — гранитоидная (K_2); 4 — базальтово-липаритовая (P N). Геолого-генетические комплексы: средне-верхнеплейстоценовые 5 — ледниково-морские (gmQ_{II-III}); 6 — морские (mQ_{II-III}); 7 — ледниковые (gQ_{II-III}); 8 — водно-ледниковые (fQ_{II-III}); 9 — озерно-аллювиальные (alQ_{II-III}); голоценовые: 10 — аллювиальные (aQ_{IV}); 11 — морские (mQ_{IV}); 12 — тектонические нарушения; 13 — граница региона; 14 — сопредельные территории

Верхняя часть разреза молассовой формации образована континентальными угленосными отложениями плиоцена мощностью 120 м, развитыми на Койнатхуиской низменности и представленными преимущественно рыхлыми песками и суперсями с прослоями галечника, глины и лигнитов и большим количеством обломков древесины. Породы молассовой формации слабо дислоцированы, углы наклона слоев 7—12°. В естественных обнажениях породы сильно выветрелы: песчаники до рыхлых песков, сланцы и алевролиты до глин и суглинков.

Породы формации рыхлого сложения, как правило, сильнольдистые (до 45—60%). Для прочных разностей пород (песчаники, конгломераты) временное сопротивление сжатию от $200 \cdot 10^5$ до $800 \cdot 10^5$ Па, для углей и выветрелых разностей может быть и менее $200 \cdot 10^5$ Па. При протаивании под нагрузкой в породах формации возможна осадка до 29 см/м.

Базальтово-липаритовая формация кайнозойского возраста слагает останцовые поднятия вдоль бортов впадин, развита в хребтах Золотой и Ушканий кряж, иногда вскрывается скважинами под плейстоценовыми осадками с глубины 18—27 м. Она представлена андезитами, андезито-базальтами, базальтами, реже липаритами, дацитами, их туфами, вулканическими стеклами. Эффузивные породы обычно слагают горизонтально залегающие, реже наклонные покровы (до 10—15°) мощностью от 50 до 1000 м. Мощность отдельных горизонтов туфов и туфоконгломератов не превышает 15—20 м, а чисто лавовых — 200—300 м. Мощность пачек переслаивания лав и туфов может достигать 600 м.

В породах формации обычно развиты три системы трещин: крутопадающие (часто вертикальные) субмеридионального и субширотного простирания и горизонтальные или близкие к ним с углом падения до 10°. Реже отмечаются трещины северо-восточного и северо-западного простирания с углами падения 40—90°. На 1 м² расположено 10—30 трещин, в выветрелых разностях (с учетом мелкой трещиноватости) количество трещин достигает 200. В основном трещины открытые протяженностью 0,2—3 м и более, шириной от 0,5 мм до 2 см, реже достигают 6 см. По трещинам отдельности породы разбиваются на угловатые блоки и глыбы размерами от 0,2 до 3 м в поперечнике. Для базальтов характерна столбчатая, плитчатая, реже шаровая отдельности, для андезитов, липаритов и дацитов — параллелепипедальная, реже столбчатая. Мелкая трещиноватость способствует разрушению пород на щебень, что особенно интенсивно проявляется в липаритах и туфовых разностях. Объемная масса андезитов и базальтов 2,49—2,8 г/см³, шлаковых базальтов — 2,12—2,15, кислых эффузивов — 2,6—2,8, туфов и туфоконгломератов — 2,2—2,4 (единичные определения 2-го ГГУ), сильновыветрелых туфоконгломератов, вскрытых (Томирдиаро, 1972) скважинами в районе г. Анадырь, — 1,72—2,22 г/см³ (12 анализов). Влажность (льдистость) сильновыветрелых туфоконгломератов 13,4—24%, сильновыветрелых порфировидных андезитов, вскрытых на глубине 2,7—4,5 м (р. Казачка), колеблется от 5,6 до 75,6% (20 анализов). Породы формации находятся в мерзлом состоянии. Выветрелые сильнольдистые разности пород при оттаивании под нагрузкой будут давать неравномерную и значительную осадку.

Гранитоидная формация позднего мела слагает массивы площадью от 100 до 2500 км² (хребты Золотой и Ушканий кряж, бассейн р. Капчалан). Центральные части массивов сложены обычно крупнозернистыми диоритами и плагногранитами, сменяющимися ближе к контактам кварцевыми диоритами и диоритами. В породах преобладают крутопадающие (30—90°) трещины северо-западного и северо-восточного простирания, менее развиты горизонтальные и пологопадающие (5—20°) трещины. Трещины обычно открытые шириной 0,2—3, редко до 20 см, протяженностью более 1—2 м. На 1 м² приходится 10—30 трещин, количество которых увеличивается в 2—5 раз в краевых зонах массивов и вблизи тектонических нарушений. Трещинами отдельности порода разбивается на блоки размером 1,5×3, реже 1,5×5 м. При выветривании образуются крупноглыбовый материал

размером 0,5×1, 1,5×2 м, щебень и дресва. По единичным определениям 2-го ГГУ объемная масса пород 2,8—3 г/см³, выветрелых разностей — 2,5—2,63 г/см³ (большие значения у мелкозернистых разностей). Водопоглощение 0,29—0,31%, пористость 3,31%. Временное сопротивление сжатию в воздушно-сухом состоянии крупно- и среднезернистых гранитов и гранодиоритов $1200 \cdot 10^5$ — $1600 \cdot 10^5$ Па, мелкозернистых до $2000 \cdot 10^5$ Па, интенсивно-выветрелых разностей—$600 \cdot 10^5$ Па, при насыщении водой — от $1200 \cdot 10^5$ до $1560 \cdot 10^5$ Па; после 25-кратного замораживания возрастает до $1540 \cdot 10^5$ — $1740 \cdot 10^5$ Па.

Ледниково-морские нижне-среднеплейстоценовые отложения обнажаются в уступах III и IV морских террас, а также вскрываются скважинами на северном побережье Анадырского лимана и в долине р. Игольной. Они представлены несортированными суглинками, содержащими гальку и валуны (10—15, реже до 50%) и отдельные прослои (в несколько сантиметров) песков с галькой. Мощность отложений до 60 м. Грубообломочный материал разноокатан, неодинаков по размерам (отдельные валуны и глыбы до 4 м в поперечнике), беспорядочно рассеян в суглинках. В составе суглинков преобладают фракции алеврита и мелкозернистого песка. Отложения характеризуются двухвершинной кривой распределения материала: одна приходится на грубообломочные фракции, другая — на тонкодисперсные. Материал неоднороден и плохо сортирован (коэффициент сортировки более 4—5). Плохая сортировка материала и малый медианный диаметр частиц указывают на формирование осадков в условиях нормального морского водоема, имеющего значительные глубины и малоподвижную среду. Отложения находятся в мерзлом состоянии и характеризуются высокой льдистостью, порфировидной и крупносетчатой криотекстурой, содержат отдельные линзы инъекционного льда мощностью до 3—4 м (Гасанов, 1969). При протаивании под нагрузкой грунты будут давать большую неравномерную осадку.

Морские плейстоценовые отложения слагают II, III и IV морские террасы. На большей части впадины они перекрыты комплексом ледниковых осадков. Отложения представлены песками, супесями, галечниками, гравийниками, реже лагунными фациями — глинами, суглинками с редкими включениями гравия и гальки, отличаются большой фациальной изменчивостью. Отдельные горизонты, прослои и линзы мощностью от 1,5 до 40 м.

Пески тонкозернистые и мелкозернистые, глинистые, хорошо сортированные (коэффициент сортировки равен 1,2—2), с прослоями и линзами мощностью до 2 м гравийно-галечного материала. В песках преобладает фракция очень мелкого песка (до 95%), встречаются разнозернистые и гравелистые пески. В пос. Шахтерский льдистость песков (50 определений Дальстройпроекта) 27—83, объемная масса — 1,34—1,99 г/см³; объемная масса скелета 0,64—1,48 г/см³; пористость 44—70% (коэффициент пористости 0,79—2,5). Пески распученного сложения (льдом) при протаивании под нагрузкой будут давать неравномерную осадку до 20—30, иногда до 60 см/м.

Гравийно-галечниковые грунты часто содержат прослои до 0,5—1 м разнозернистого песка и до 1,5—5 м галечно-валунного материала, отдельные линзы и прослои до 2,5 м супесей. В пос. Шахтерский в составе гравийно-галечного материала (30 определений) преобладает мелкий и средний хорошо окатанный галечник. Естественная весовая льдистость от 10,6 до 76,9% (лед в виде линз, прослоев, гнезд мощностью от нескольких миллиметров до 0,7 м); объемная масса 1,31—2,12 г/см³; объемная масса скелета 0,71—1,84 г/см³; пористость 30,6—

73,1%. Грунты сильно распучены льдом и при оттаивании под нагрузкой будут давать неравномерную осадку до 63 см/м.

Лагунная фация представлена тонкоотмученными пылеватыми глинами и суглинками мощностью до 60 м. Высокое содержание пелитовой фракции (41—60%) обеспечивает сравнительно хорошую сортировку материала (коэффициент сортировки от 2,2 до 3,4). Медианные диаметры соответствуют фракции мелкого алеврита. Формирование таких осадков происходило в условиях глубокого залива или лагуны при слабой подвижности водных масс. Содержание гальки и гравия в глинах колеблется от 18,3 до 47,8% (70 анализов, пос. Шахтерский). Естественная весовая льдистость (от 15,5 до 104,8%) в большинстве случаев превышает 30%. Лед в виде линз, гнезд и прослоев мощностью до 2—3 см, количество которых достигает 10 штук на 1 м. Объемная масса грунта 1,15—2 г/см^3; объемная масса скелета 0,63—1,64 г/см^3. Грунты распучены льдом (коэффициент пористости >1). При оттаивании они приобретают текучую консистенцию и значительно теряют свою несущую способность. Физико-механические свойства пород лагунной фации, вскрытых скважинами в районе р. Казачки, приведены в табл. 34 (Гольц, 1972).

Таблица 34

Физико-механические свойства морских отложений лагунной фации

Показатели	Суглинок	Супесь	Суглинок
Плотность, г/см^3	2,7—2,73(6)	2,68—2,72(8)	2,71(62)
Объемная масса, г/см^3	1,99—2,73(4)	1,9—2,02(8)	2(61)
Объемная масса скелета, г/см^3	1—1,54(4)	1,51—1,69(8)	1,64(61)
Суммарная влажность, %	20—63(4)	17—30(13)	24(169)
Количество замерзшей воды, %	12—20(4)	6—13(13)	10(178)
Весовая льдистость	8—43(4)	12—27(13)	13(169)
Коэффициент пористости	0,79—1,47(4)	0,6—0,78(8)	0,65(61)
Пористость, %	44—60(4)	39,4—43,8(8)	39,2(61)
Степень заполнения	0,75—1(4)	0,77—0,96(8)	0,89(61)
Предел текучести	37—48(18)	28—34(13)	36(180)
Предел раскатывания	18—35(18)	22—28(13)	19(180)
Число пластичности	17—27(18)	3—7(13)	17(180)
Засоленность, %	0,06—0,44(3)		0,88(47)

Примечание. См. табл. 9.

В песках и галечниках со сравнительно низкой льдистостью развиты различные виды льда-цемента, в супесях — горизонтальные шлиры льда толщиной до 1 мм, в глинах — шлировая крупносетчатая криотекстура (толщина шлиров 0,5—6 см, интервалы между ними 10—26 см). Встречаются отдельные линзы и пласты инъекционного льда. Под озерами морские суглинки и глины находятся в талом состоянии и имеют текучую консистенцию, мерзлота вскрыта скважинами лишь с глубины 15—19,5 м (Томирдиаро, 1970).

Ледниковые верхнеплейстоценовые отложения широко развиты, их мощность в окрестностях Анадырского лимана 10—20 м, в грядах и холмах достигает 80—120 м. Они представлены неслоистыми валунными суглинками, супесями, изредка (в верхних частях конечных морен) валунными песками и имеют сложное взаимоотношение с другими комплексами (рис. 41). Валуны размером 0,1—0,5, реже 2—3 м достигают 38%, галька 2—5 см — 5—10% (единичные анализы 2-го ГГУ). Супеси преимущественно мелкозернистые и пылеватые, суглинки пылеватые.

Сортировка материала плохая (коэффициент сортировки 3—9). Характерна низкая льдистость (до 25%) и слабовыраженная шлировая криотекстура. Галька и валуны покрыты обычно ледяной корочкой толщиной до 6 мм. В верхних переотложенных более льдистых горизонтах

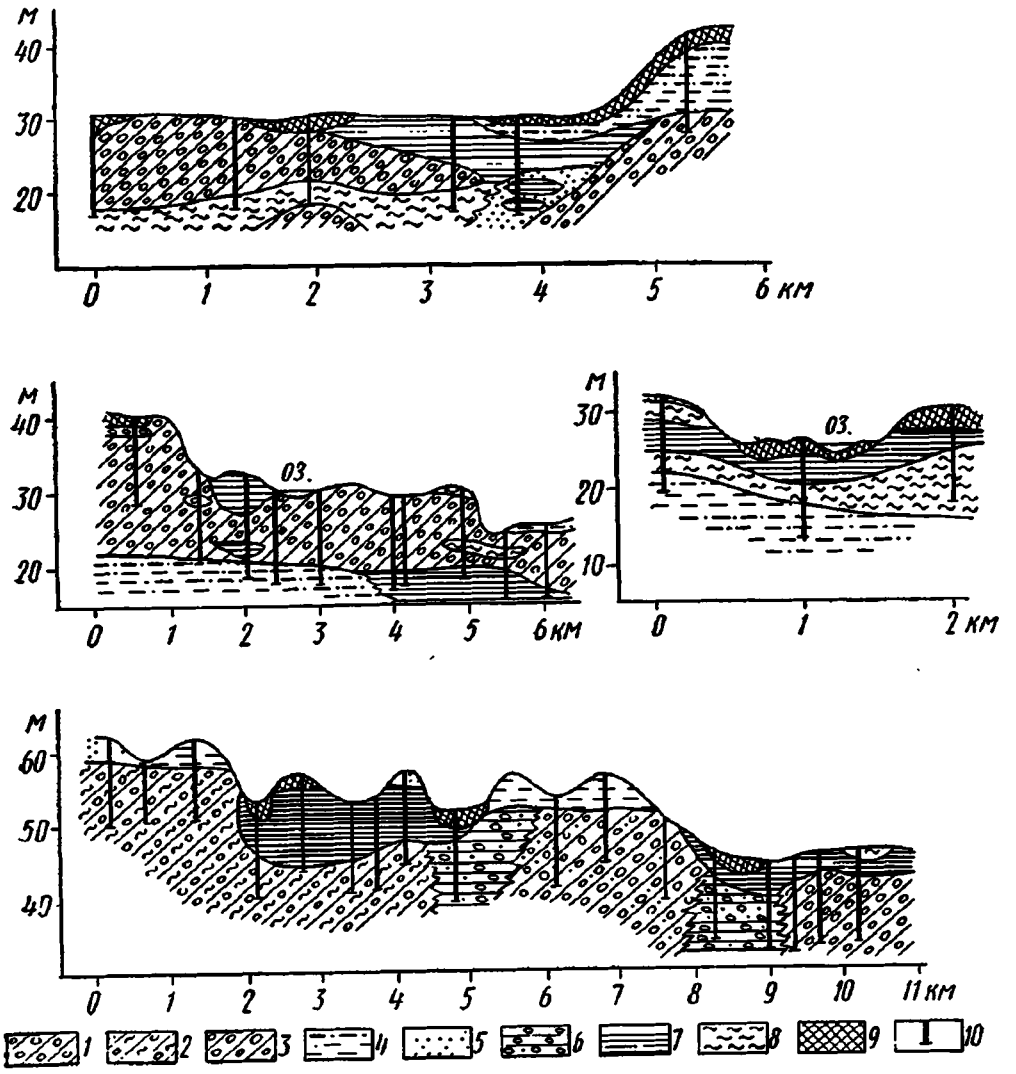


Рис. 41. Характер взаимоотношения осадков ледникового комплекса позднего плейстоцена (Q^2_{III}) в юго-западной части Анадырской впадины—междуречье Чирынай и Тэлекай (по материалам СВТГУ, 1971).

Ледниковые отложения: 1 — гравий, галька, валуны, суглинки; 2 — валунные суглинки; 3 — валунные супеси; водно-ледниковые отложения: 4 — супеси; 5 — пески; 6 — пески, галечники, суглинки; озерно-ледниковые отложения. 7 — глины; 8 — суглинки; 9 — озерно-болотные современные отложения (торф); 10 — скважины

встречаются инъекционные и повторно-жильные льды мощностью до 2—2,5 м. При оттаивании под нагрузкой грунты будут давать осадку до 10—20 см/м. В мерзлом состоянии порода крепкая, практически не сжимаемая. На глубине 3,2 м нормативное давление $7 \cdot 10^5$ Па, на глубине 5—10 м — до $8 \cdot 10^5$ Па.

Водно-ледниковые и озерно-ледниковые верхнеплейстоценовые отложения широко распространены вдоль долины р. Анадырь, где слагают плоские и слабоволнистые зандровые равнины.

Водно-ледниковые отложения вблизи моренных гряд представлены грубослоистыми галечниками (50—70%) с включением валунов (до 5—10%), с заполнителем разнозернистым песком или супесью, переслаивающимися с хорошо промытыми гравийными, крупно- и мелкогалечными прослоями и песчаными линзами мощностью до 2 м. С удалением от моренных гряд на 0,5—1 км галечники сменяются разнозернистыми песками с примесью гальки и гравия (до 25%). Сортировка песков возрастает по мере удаления от моренных образований. Физико-механические свойства водно-ледниковых отложений, вскрытых скважинами на р. Казачке в интервале глубин 15—32 м, приведены в табл. 35.

Таблица 35

Физико-механические свойства водно-ледниковых отложений

Показатели	Супеси	Песок
Плотность, г/см³	2,69—2,71(16)	2,64—2,66(10)
Объемная масса, г/см³	1,61—2,03(16)	1,56—2,93(10)
Объемная масса скелета, г/см³	1,02—1,69(16)	1,11—1,63(10)
Суммарная влажность, %	27(39)	25(21)
Количество замерзшей воды, %	7(46)	0(21)
Весовая льдистость, %	19(39)	25(21)
Влажность за счет льда, %	13(39)	9—25(5)
Коэффициент пористости	0,6—1,64(16)	0,53—1,37(10)
Пористость, %	37,6—62,2(16)	38,9—57,9(16)
Степень заполнения	0,86—1(16)	0,54—1(10)
Предел текучести	30(46)	
Предел раскатывания	25(46)	
Число пластичности	5(46)	
Угол естественного откоса:		
сухой породы	38—43(4)	34—37(5)
под водой	31—38(4)	31—35(5)

Примечание. См. табл. 9.

Озерно-ледниковые отложения представлены ленточными глинами мощностью 7—10, реже до 24 м (северный берег зал. Онемен), перекрываемыми горизонтально-слоистыми супесями мощностью до 6 м. Наблюдается огрубление состава и ухудшение сортировки вверх по разрезу. В гранулометрическом составе (Гасанов, 1969) отмечается резкое преобладание (до 86%) фракции алеврита. Сортировка материала различна (коэффициент сортировки колеблется от 1,9 до 9,2).

Галечники и пески с невысокой льдистостью характеризуются массивными криотекстурами. Увеличение льдистости галечников наблюдается вниз по разрезу. В песках при увеличении пылеватых фракций (в верхнем 4—5-метровом слое) развиваются тонкошлировые криотекстуры. Наиболее льдистыми (до 150% и более) являются озерно-ледниковые отложения. В верхней (4—8-метровой) толще глин развиты шлиры льда толщиной 0,5—6 см, расстояние между ними от 2 до 70 см. При протаивании озерно-ледниковых отложений возможна большая и неравномерная осадка. Глины при оттаивании будут переходить из твердомерзлой в пластичную и текучую консистенцию, а при сезонном промерзании — подвержены пучению. Нормативное давление на уровне

заложения фундаментов в среднем при температурах минус 0,5—1,5° для песков составляет $3 \cdot 10^5 — 8 \cdot 10^5$ Па, для супесей, суглинков и глин — $2 \cdot 10^5 — 5 \cdot 10^5$, для галечников — $6 \cdot 10^5 — 9 \cdot 10^5$ Па.

Аллювиальные верхнеплейстоценовые отложения мощностью 15—20 м слагают II надпойменную террасу в долинах крупных рек. В них резко преобладает русловая фация аллювия, представленная гравийно-галечниковым материалом с разнозернистым песчаным или супесчаным заполнителем. В верхней (пойменной) фации аллювия развиты супесчаные, песчаные и суглинистые грунты, встречающиеся также в виде прослоев и линз среди отложений русловой фации. Галька преимущественно мелкая (1—5 см), хорошо окатанная, содержание которой достигает 40—60%. Пески средне- и мелкозернистые, местами разнозернистые, с прослоями 0,1—0,3 м гравелистых песков. Супеси и суглинки с включением до 20—47% гальки и гравия. Отложения горизонтально-слоистые. Русловая фация характеризуется сравнительно низкой льдистостью и развитием массивных криогенных текстур, пойменная — мелких тонкошлировых сетчато-слоистых криотекстур и повторно-жильных льдов, проникающих на глубину до 5 м. Встречаются инъекционные льды мощностью 1,1—5,7 м, кровля которых залегает на глубине 1,5—4,5 м, а подошва — на глубине 3,5—7,2 м. Физико-механические свойства отложений II надпойменной террасы р. Казачки приведены в табл. 36. На глубине 3,2 м нормативное сопротивле-

Таблица 36

Физико-механические свойства аллювиальных верхнеплейстоценовых отложений

Показатели	Песок	Супесь	Суглинок	Гравийно-галечниковый материал
Плотность, г/см³	2,64—2,67(12)	2,68(30)	2,63—2,71(18)	2,66—2,71(11)
Объемная масса, г/см³	1,08—1,99(12)	1,59(30)	1,23—1,93(18)	1,74—2,09(11)
Объемная масса скелета, г/см³	0,83—1,59(12)	1,08(30)	0,64—1,55(18)	1,3—1,77(11)
Суммарная влажность, %	15—71(19)	47(30)	63(20)	24(29)
Весовая льдистость, %	15—71(19)	40(30)	54(20)	21(26)
Коэффициент пористости	0,65—2,25(12)	1,48(30)	1,46(20)	0,52—1(11)
Пористость, %	40,4—69,2(12)	60(30)	59(20)	34,4—51,6(11)
Степень заполнения	0,72—1(12)	0,92(30)	0,87(20)	0,52—1(11)
Предел текучести		26(44)	39(30)	23(27)
Предел раскатывания		21(44)	27(30)	16(27)
Число пластичности	—	5(44)	12(30)	7(27)
Засоленность, %	0,02—0,22(13)	0,16—0,38(2)		0,07—0,41(6)
Угол естественного откоса:				
сухой породы	42—44(6)			37—44(4)
под водой	30—34(6)			33—35(4)
Коэффициент фильтрации	0,43—13(10)	0,1—5,5(10)	0,05—0,9(3)	0,4—18(3)

Примечание. Определение пластичности приведено для заполнителя.

ние мерзлых грунтов сдвигу по боковой поверхности смерзания $1{,}8 \cdot 10^5$ Па, на глубине 5—10 м оно достигает $2{,}5 \cdot 10^5$ Па; нормативное давление мерзлых пород соответственно $7 \cdot 10^5$ и $8 \cdot 10^5$ Па. Протаивание жильных и инъекционных льдов могут привести к катастрофическим просадкам. В целом при оттаивании под нагрузкой грунты будут испытывать неравномерную осадку до 50 см/м.

Аллювиальные голоценовые отложения, развитые во всех долинах региона, представлены гравийно-галечниковым материалом (с заполнителем разнозернистым песком), песками, супесями с прослоями суглинков, илов, гравия. Мощность аллювия в долинах крупных рек достигает 10—15 м, мелких — 5—7, реже 10 м. В верхнем и среднем течении рек русловая фация представлена грубослоистыми галечниками (6,1—65,4%), гравием (15,2—81%) и песками (9,6—48,8%). В составе пойменной фации преобладают песчаные фракции; торфяники мощностью до 3 м образуют небольшие быстро выклинивающиеся линзы. В низовьях рек в разрезе преобладают пойменные и старичные фации, слагающие всю видимую часть разреза. Физико-механические свойства аллювия р. Угольной приводятся в табл. 37.

Таблица 37

Физико-механические свойства аллювиальных отложений р. Угольной

Показатели	Гравий и галька с песком (51 анализ)	Песок (16 анализов)	Супеси (9 анализов)	Суглинки (12 анализов)
Объемная масса, г/см³	2,07	1,61—2,16	1,5—2,02	1,07 –1,95
Влажность, %	19,7	13,4—49,2	12,7—49,6	10,4—52,5
Пористость, %	34,3	28,3—59,3	33,8—60,1	27—59,9
Коэффициент пористости	—	0,4—1,45	0,64—1,51	0,37—1,5
Число пластичности			6—6,7	7,8—12,9
Пределы:				
текучести			23,5—26,2	24,1—35,5
раскатывания			16,8—20,2	22,5—25,7
Коэффициент фильтрации, м/сут	100—500	до 80	до 20	до 2

Для русловой фации аллювия характерна низкая льдистость, массивная криотекстура, для пойменной — повышенная льдистость и шлировая слоисто-сетчатая криотекстура. В прирусловой части и под руслом развиты талые грунты. Талые суглинки обладают текучей консистенцией, мерзлые — при оттаивании под нагрузками будут давать неравномерные осадки.

Морские голоценовые отложения развиты узкой полосой вдоль побережья. Низы разреза I морской террасы сложены мелкозернистыми песками, переходящими выше в пески с галькой (5—20%) и гравием (15—30%), гравийники и мелкие хорошо сортированные и окатанные галечники, содержащие до 50—70% гальки размером 1—5 см. Вся толща осадков косослоистая, с короткими невыдержанными пачками слоев мощностью до 1 м. Часто I террасу целиком слагают хорошо сортированные пески (коэффициент сортировки 1—2). В прилиманной части Нижне-Анадырской низменности морская терраса высотой 3—4 м сложена суглинками и глинами с неясной горизонтальной слоистостью и прослоями оторфованных (до 10—18% органических примесей) илов и иловатых песков. Прослои не выдержаны по простиранию и имеют мощность от 2 до 50 см. По данным единичных анализов суглинки содержат песчаных фракций 0,5—0,05 мм—9—39%, 0,05—0,01 мм—20—46, 0,01—0,005 мм — 6—23, 0,005—0,002 мм до 12% и фракции менее 0,002 мм — 5—19%. Естественная влажность (льдистость) от 30 до 97%. В составе этих отложений не выделяется какая-либо резко доминирующая фракция, сортировка материала средняя и плохая (коэффициент сортировки от 2,5 до 3,96). Медианный диаметр колеблется

в широких пределах (от 0,004 до 0,14 мм). Наличие большого количества тонкодисперсного материала приводит к формированию шлировых криотекстур. Талые суглинки текучей консистенции под нагрузкой превращаются в плывун и теряют несущую способность.

Косы, пересыпи и пляжи сложены галечниками, песками с галькой и песками различной крупности, состав, окатанность и сортировка которых определяются береговым потоком наносов, волновым режимом и составом размываемых пород. Грунты кос талые. Мерзлые линзы пород мощностью до 3—4 м формируются под косами шириной более 0,3—0,5 км и высотой 3—5 м (Стремяков, 1963).

Современные **озерно-болотные отложения**, занимающие небольшие площади и широко развитые на различных генетических типах четвертичных отложений, представлены сильнольдистыми супесями, илами, суглинками и торфом мощностью до 3 м.

Современные **склоновые отложения** развиты незначительно (хребты Золотой и Ушканий кряж) и изучены слабо.

Мерзлотно-гидрогеологические условия

Многолетнемерзлые породы развиты практически повсеместно. Сквозные талики шириной до 2,5—6 км установлены под руслами крупных рек, где они захватывают всю пойму и частично I террасу, несквозные — под средними и малыми реками и непромерзающими озерами глубиной более 1,5 м. Мощность многолетнемерзлой толщи 100—250 м, на побережье заливов Креста и Анадырского — 40—60 м. Температура многолетнемерзлых пород изменяется от —2 до —6°. Подошва слоя годовых колебаний температуры залегает на глубине 15—20 м. Колебания температур в пределах этого слоя, по многолетним наблюдениям в г. Анадырь, приведены в табл. 38. Температура пород в подозерных таликах в районе г. Анадырь 2—4° (Шило, Томирдиаро, 1970).

Таблица 38

Температура многолетнемерзлых пород на глубине от 0,5 до 20 м

Глубина, м	Температура, °С	
	минимальная	максимальная
0,5	—21,7	2
0,8	—20,2	0
1,5	—18	1,1
2	—14,5	—1
3	—11,7	—2,4
5	— 8,7	—3,2
10	— 5,9	—5,4
20	— 5,4	—5,4

Мощность сезоннопротаивающего слоя колеблется в пределах от 0,4—0,8 м (торфяники, суглинки) до 0,1—1,5, реже до 2,5 м (в песчаных и песчано-галечниковых отложениях).

Повсеместно распространены надмерзлотные воды слоя сезонного протаивания. Обводненные породы небольшой мощности (0,2—0,5 м) с очень низкой водообильностью: дебиты шурфов 0,003—0,03 л/с, реже 0,3 л/с при понижениях уровня на 10—15 м. У этих вод pH 4,5—5,5; минерализация до 0,3 г/л; общая жесткость не более 1 мг·экв/л. Они обладают общекислотной и выщелачивающей агрессивностью по отношению к бетону.

Подмерзлотные воды вскрыты скважинами в породах молассовой формации кайнозойского возраста на глубине 120—155 м (бассейн р. Казачки). Воды высоконапорные (от 110 до 800 м). Водоносность пород слабая. Дебиты скважин при самоизливе 0,35—0,4 л/с. Коэффициент фильтрации водоносных песчаников 1,0—1,9 м/сут.

Минерализация подмерзлотных вод увеличивается с глубиной и к центру впадины от 1 до 96 мг/л. Воды хлоридные натриевые, общей жесткостью 289—368 мг·экв/л; pH 6,5—7, с содержанием свободной углекислоты от 97 до 141 мг/л. Обладают выщелачивающей и в отдельных случаях общекислотной агрессивностью. В связи с высокой минерализацией подмерзлотных вод подошва мерзлой зоны лежит на 30—40 м выше подошвы пояса отрицательных температур.

Современные геологические процессы и явления

Современные геологические процессы и явления связаны с мерзлотно-климатическими особенностями региона. Интенсивное морозное растрескивание четвертичных отложений, достигающее глубин 1,5—3 м, приводит к росту жильных льдов и образованию полигонально-валикового рельефа. Полигоны размером от 4 до 60 м образуют сотоподобную решетку, разделенную валиками-бордюрами высотой 0,2—0,8, реже до 1 м. В результате протаивания жильных льдов и высокольдистых отложений образуются термокарстовые просадки, величина которых определяется мощностью клиновидных подземно-жильных льдов и обычно не превышает 5—6 м. Заполненные водой котловины становятся накопителями тепла, что приводит к усилению термокарста и образованию термокарстовых озер. Увеличению поверхности озер способствует термоабразия, разрушающая берега со скоростью до 15 м в год. Солифлюкция развита на пологих от 4 до 15° склонах возвышенностей и останцов, реже — на уступах террас и склонах ледниковых холмов. В районе г. Анадырь солифлюкция приводит к сползанию участков автодорог на 100—200 м на склонах южной экспозиции и к наклону до 10—15° недостаточно заглубленных железобетонных стоек фундаментов.

АРКТИЧЕСКИЕ ОСТРОВА

В состав региона включаются острова Новосибирского архипелага (Ляховские, Анжу, Де-Лонга), острова Медвежьи, Врангеля, Геральд, Айон, Бол. Роутан и Мал. Роутан.

Рельеф Новосибирских островов характеризуется сочетанием в различной степени расчлененных низменностей с возвышенным плато. На верхнеплейстоценовых морских террасах и озерно-аллювиальных равнинах с абсолютной высотой до 50—60 м широко распространены крупные холмы и гряды с относительной высотой до 25—30 м, разделенные преимущественно аласовидными термокарстовыми, часто сухими долинами и крупными аласами до 10—20 км в поперечнике (острова Бол. Ляховский, Котельный и Фаддеевский). Интенсивное овражно-эрозионное расчленение отмечено на озерно-аллювиальных равнинах островов Бельковского и Столбового (Аверина и др., 1962). Возвышенные плато, сложенные скальными породами, распространены почти на всех островах архипелага, но наиболее широко — на островах Котельном и Бол. Ляховском. Долины рек расчленяют плато на плосковершинные гряды и возвышенности овальной формы (абс. отм. 220—374 м), склоны которых осложнены нагорными террасами и кекурами (скалистыми останцами) высотой до 15 м. На плоской поверхности воз-

вышенных плато островов Бениета, Генриетты и Жаннетты (абс. отм. свыше 300—400 м) располагаются ледниковые купола.

Береговая линия Новосибирских островов в большинстве случаев обладает плавными очертаниями, исключая о. Котельный, берега которого сильно изрезаны. Аккумулятивные берега обрываются к морю уступом высотой до 4—30 м. На участках островов, где к берегу подходит возвышенное плато, обрывы высокие, скалистые. На островах Беннета и Жаннетты высота скалистых береговых обрывов 200—220 м. На этих островах встречаются берега, сложенные глетчерными льдами.

Острова Айон, Бол. Роутан, Рыянронот и другие более мелкие характеризуются полигонально-байджараховым мезорельефом. По берегам этих островов развиты невысокие песчано-галечниковые валы и косы. Острова Медвежьи представляют собой плоскую абразионную низменность, сложенную гранитами, с многочисленными останцами (кекурами). В центральной части о. Врангеля развит низкогорный и среднегорный рельеф (абс. отм. 650—1100 м), основу которого составляют две параллельные цепи хребтов широтного простирания, разделенные крупными речными долинами шириной 1—5 км. Небольшие участки на западе и востоке острова заняты возвышенными плато (абс. выс. 200—600 м), постепенно переходящими в низкие горы. На склонах возвышенностей, образующих расчлененное плато, развиты нагорные террасы. На высотах более 200 м встречаются кары. Низменные равнины (абс. отм. 1—100 м) развиты широкой полосой на севере и на юге острова. Плоские и волнистые равнины осложнены термокарстовыми понижениями и увалами высотой 5—15 м. Берега преимущественно аккумулятивные с береговыми валами и косами. Возвышенное плато обрывается к морю крутыми скалистыми склонами высотой до нескольких сотен метров.

Остров Геральд представляет собой скалистый утес высотой 380 м, протяженностью 6 км и шириной 3,5 км.

Для крупных островов Новосибирского архипелага, исключая Землю Бунге, характерна хорошо развитая речная сеть, густота которой достигает 1,8—1,9 км/км^2. Реки протяженностью 80—170 км. Густота речной сети в равниной части о. Врангеля 0,48 км/км^2, в горной части — 0,58 км/км^2. Протяженность наиболее крупных рек 50—100 км. Большинство рек в устье образует широкие эстуарии и лагуны, которые отчленяются от моря галечниковыми косами. Сток воды в реках происходит в течение трех-четырех летних месяцев, причем 80% стока приходится на весеннее половодье, зимой он прекращается полностью. Питание некоторых рек в зимний период происходит лишь рассольными подмерзлотными водами. В нижнем течении р. Решетникова на протяжении 15—16 км в зимнее время происходит подледный сток рассольных вод с температурой минус 6—8° (Неизвестнов, 1973).

На Новосибирских островах располагается свыше сотни крупных озер и множество мелких (площадью 3,5—6,5 км^2). Большинство озер термокарстовые, реже встречаются лагунные, пойменные, а в горах Врангеля — ледниковые. Глубина большинства озер не превышает 2 м. Все они промерзают до дна, исключением могут быть ледниковые озера в горах о. Врангеля и оз. Глубокое на Земле Бунге.

Климат островов морской, арктический. Среднегодовая температура —11,3° (о. Врангеля). Абсолютные минимумы температур достигают минус 40—45°. Среднегодовая температура самого холодного месяца — февраля —24,9° (о. Врангеля) и —32,8° (о. Анжу). Самый теплый месяц — июль характеризуется средними температурами от —0,2° (о. Генриетты) до +3,1° (о. Врангеля).

Количество атмосферных осадков, выпадающих преимущественно в виде снега, от 131—144 (Новосибирские острова) до 209—250 мм/год (о. Врангеля). Частые сильные ветры, скорость которых достигает 28—80 м/с на Новосибирских островах и 40 м/с на о. Врангеля, обусловливают неравномерное распределение снежного покрова. Плотность снега в конце мая достигает 0,394 г/см^3.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Большинство островов Лаптево-Чукотского шельфа располагается в пределах положительных структур эпимезозойской плиты, представляя собой наиболее приподнятые участки сводов и валов (рис. 42). Фундаментом эпимезозойской плиты служат в различной степени дислоцированные породы от позднепротерозойского до позднемелового возраста, представленные метаморфической, вулканогенно-терригенными, терригенно-карбонатными и молассовыми формациями. Платформенный чехол плиты включает отложения позднего мела и кайнозоя, представленные молассами.

Самые древние породы фундамента обнажаются в ядрах положительных структур на островах Бол. Ляховского, Беннета, Врангеля. Острова Новая Сибирь, Фаддеевский, Айон располагаются в пределах внутришельфовых впадин и грабенообразных прогибов и сложены породами платформенного чехла.

Породы метаморфической формации позднепротерозойского-кембрийского возраста обнажаются в юго-восточной части о. Бол. Ляховского и представлены кристаллическими сланцами мощностью около 2000 м, залегающими с падением на восток-юго-восток под углом 30—45°. Породы крепкие, гнейсовидного облика, полосчатые. Объемная масса кристаллических сланцев по данным 9 определений 2,56—2,69 г/см^3.

Терригенно-карбонатная галогенная формация позднего протерозоя (?)-палеозоя выходит на поверхность о. Врангеля и сложена филлитизированными карбонатно-глинистыми, глинистыми, алевритистыми сланцами, часто рассланцованными песчаниками, конгломератами. В верхней части разреза отмечены прослои мелкозернистого гипса мощностью 0,5—0,7 м. Общая мощность отложений свыше 2000—3500 м. Породы обычно собраны в складки с углами падения в среднем 45—50°, в зонах разломов интенсивно перемяты, насыщены послойными инъекциями амфиболитов и гранитоидов, прокварцованы и нарушены до крутого, почти вертикального залегания (Тильман и др., 1970).

В приконтактовых зонах с интрузивными телами отмечаются вторичные кварциты, инъекционные гнейсы, а рассланцованные аркозовые песчаники приобретают облик кристаллических сланцев. Метаморфизованные отложения представляют собой прочные породы.

Породы группы терригенно-карбонатных формаций раннего и среднего палеозоя распространены на о. Врангеля и Новосибирских островах. Разрез их начинается кембрийскими аргиллитами, алевролитами с редкими прослоями окварцованных известняков (о. Беннета) общей мощностью 500—520 м. Ордовикские отложения нижнего и среднего отделов, обнажающиеся на о. Беннета, представлены переслаивающимися алевролитами, аргиллитами и в подчиненном количестве песчаниками. Мощность прослоев

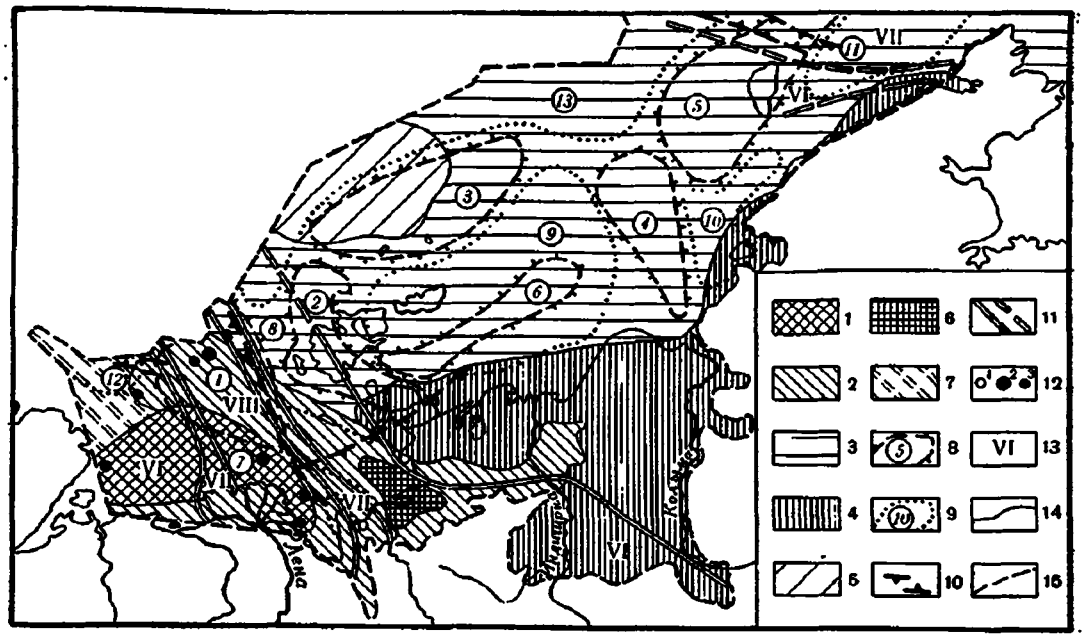


Рис. 42. Схематическая структурно-тектоническая карта регионов Лаптево-Чукотского шельфа, Арктических островов и Яно-Колымской низменности (по В. А. Виноградову, И. М. Русакову, Г. И. Гапоненко) с элементами сейсмического районирования (по Г. П. Аветисову, С. В. Голубкову, В. И. Кочеткову):

1 — Лаптевский массив Сибирской платформы. Позднемезозойские складчатые системы миогеосинклинального типа развития: 2 — Верхояно-Колымская; 3 — Новосибирско-Чукотская. Складчатые системы эвгеосинклинального типа развития: 4 — раннемезозойская Корякско-Анюйская и позднемезозойская Раучуанско-Омолойская; 5 — позднемезозойская Генриеттская; 6 — Шелонский погребенный массив; 7 — палеозойская и более древняя складчатая система (по предположению); 8 — сводово-глыбовые и валообразные поднятия и их номера: сводово-глыбовые поднятия: *1* — Восточно-Лаптевское; *2* — Ляховское-Анжу; *3* — Де-Лонга; *4* — Восточно-Сибирское; *5* — Врангелевское; *6* — Центральное валообразное поднятие; *9* — внутришельфовые впадины и грабенообразные прогибы и их номера: внутришельфовые впадины и грабенообразные прогибы: *7* — Усть-Ленский; *8*—Бельковско-Столбовой; *9*—Новосибирская; *10*—Айонская; *11* — Южно-Чукотская; окраинношельфовые прогибы; *12* — Западно-Лаптевский; *13* — Чукотско-Восточно-Сибирский; 10 — сбросы и взбросы (штрих на стороне опущенного крыла); 11 — изосейсты: достоверные и предполагаемые; 12 — эпицентры землетрясений с магнитудой соответственно $6 \leqslant$ м; $5 \leqslant$ м < 6; м < 5; 13 — сейсмическая балльность; 14—15 — границы соответственно складчатых систем и регионов

от нескольких сантиметров до 2 м. Общая мощность отложений свыше 1000 м. Средне- и верхнеордовикские отложения о. Котельный представлены известняками и доломитизированными известняками мощностью более 1000 м. Существенно карбонатные силурийские и терригенно-карбонатные девонские отложения обнажаются на островах Котельном и Бельковском. Силурийские отложения представлены известняками и доломитизированными известняками мощностью 650—800 м. В основании девонской толщи залегает слой известняковой брекчии мощностью до 25 м. Выше залегают известняки, доломитизированные известняки и доломиты нижнего — среднего отдела общей мощностью до 1200—1400 м. Верхнедевонские отложения в нижней части разреза сложены переслаивающимися аргиллитами, алевролитами и известняками общей мощностью 1500—2000 м; в верхней — чередующимися через 1—100 м кварцевыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами и известняками общей мощностью 1000—1200 м. Отложе-

ния каменноугольного возраста мощностью 550 м, представленные известняками, аргиллитами и алевролитами турнейского яруса, выходят на поверхность на о. Котельном.

Нижнекаменноугольные отложения о. Врангеля подразделяются на три толщи (Тильман и др., 1970). Нижняя представлена органогенными известняками, алевролитами, глинисто-известковистыми и глинистыми сланцами общей мощностью 300—400 м и содержит редкие пластовые тела гранитоидов. Средняя толща сложена филлитизированными глинистыми, глинисто-алевритовыми, реже углистыми сланцами мощностью более 900 м; верхняя — известняками, песчаниками, глинисто-карбонатными сланцами и алевролитами мощностью более 1000 м.

Отложения группы терригенно-карбонатных формаций образуют ряд крупных линейных складок, осложненных складчатостью более высоких порядков и разрывными нарушениями (сбросами меридионального простирания с амплитудами вертикальных перемещений от десятков и сотен метров до 1,5—2 тыс. м в отдельных случаях). Почти все сбросы сопровождаются тектоническими брекчиями. Углы падения пород в присводовых частях 20—30°, на крыльях до 40—60°, вблизи разломов достигают 80°, в ядрах синклинальных структур углы падения большей частью не превышают 5—30°.

Среди палеозойских (до верхнедевонских включительно) осадочных отложений встречаются редкие дайки и силлы диабазов и габбро-диабазов мощностью до 100 м.

Известняки и доломиты, входящие в состав группы терригенно-карбонатных формаций, характеризуются массивной, реже толсто- и тонкоплитчатой текстурой. Для всех карбонатных пород среднего палеозоя характерны примерно одинаковые значения объемной массы, изменяющиеся (по данным более 150 определений петрофизической лаборатории НИИГА) от 2,68 до 2,8 г/см^3. По мнению А. Л. Пискарева, значения плотности карбонатных пород ниже 2,75 г/см^3 свойственны только для пород верхней выветрелой зоны. Скорости продольных сейсмических волн в карбонатных отложениях среднего палеозоя, по данным Г. П. Аветисова, 6,1—6,7 км/с, что косвенно характеризует породы как высокопрочные (коэффициенты Пуассона, равные 0,24—0,25). Удельные электрические сопротивления карбонатных отложений в мерзлой зоне составляют в среднем 4000 Ом·м, ниже мерзлой зоны 1500 Ом·м, что указывает на практически одинаковые свойства пород в талом и мерзлом состояниях.

Терригенные палеозойские породы обладают прочностными свойствами, близкими к карбонатным. Однако аргиллиты, широко распространенные среди отложений всех систем, видимо, следует отнести к породам менее прочным.

Вулканогенно-терригенно-кремнистая формация объединяет отложения от ордовика до перми включительно и выходит на поверхность в центральной и юго-западной частях о. Бол. Ляховского. Формация представлена монотонно чередующимися полевошпатово-кварцевыми сланцеватыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами, глинистыми и филлитовидными серицито-хлорито-кварцевыми сланцами с пачками лав основного состава. Мощность прослоев песчаников и сланцев колеблется от 0,5 до 4,5 м, мощность лав и их пачек от единиц метров до 50 м. Общая видимая мощность пород вулканогенно-осадочного комплекса на острове свыше 2—3 тыс. м. Отложения собраны в сложные складки шириной до 250 м западного и северо-западного простирания с углами падения пород на крыльях 30—

90°. Породы характеризуются интенсивной рассланцованностью, широким развитием многочисленных систем трещин, перемятостью и плойчатостью. Объемная масса (по единичным анализам) алевролитов 2,47—2,5 г/см^3, аргиллитов — 2,48—2,5, глинистых и филлитовидных сланцев — 2,52—2,64, базальтов — 2,57—2,82 г/см^3.

Гранитоидная формация распространена на о. Бол. Ляховском. Площадь выходов интрузий достигает 100 км^2 и более. Породы среднезернистые, реже мелкозернистые и порфировидные. Интенсивная трещиноватость развита лишь в зоне выветривания до глубины 1—3 м. Ниже породы почти монолитные.

Песчано-глинистая сероцветная формация распространена на островах Котельном и Врангеля и представлена аргиллитами, содержащими прослои алевролитов и известняков мощностью 0,5—0,8 м. В верхней части разреза увеличивается количество прослоев алевролитов, появляются песчаники и гравелиты (о. Врангеля). Известняки почти исчезают из разреза. Мощность прослоев всех разностей пород 0,1—0,5 м (Вольнов и др., 1970). Общая мощность отложений 800—1000 м. Породы собраны в крупные складки с углами падения на крыльях 20—40°. Известняки, песчаники, алевролиты отличаются большой уплотненностью и высокими прочностными свойствами.

Вулканогенно-терригенная формация условно мелового возраста (Вольнов, Сороков и др., 1970) распространена на островах Генриетты и Жаннетты. Нижняя часть разреза формации сложена кварцитами, песчаниками и глинистыми сланцами мощностью 150—200 м, верхняя — туфогенными песчаниками, содержащими пластовые залежи диабазовых и авгитовых порфиритов общей мощностью свыше 700 м. Кварциты очень плотные, слюдистые, глинистые сланцы ороговикованы и также, по-видимому, обладают высокими прочностными свойствами.

Молассовая формация условно мелового возраста выходит на поверхность на островах Генриетты и Жаннетты и представлена валунными конгломератами и граувакковыми песчаниками мощностью более 200 м. Песчаники и конгломераты большей частью прочно сцементированы. Конгломераты состоят из обломков порфиритов, песчаников, кварцитов, гранитной гальки. Однако на о. Жаннетты встречаются и слабо сцементированные конгломераты и валунники.

Отложения угленосной формации раннего мела распространены на островах Котельном, Беннета и Мал. Ляховском и представлены песчаниками с прослоями аргиллитов, алевролитов, глин, пластами каменных углей и линзами конгломератов и известняков мощностью до 1 м. Мощность прослоев глин 0,3—1,5 м, угольных пластов — 0,25—7,5 м. Общая мощность отложений свыше 100—150 м. Аргиллиты, алевролиты, песчаники (по единичным определениям А. Л. Пискарева) характеризуются средней плотностью — 2,5—2,6 г/см^3. Скорости продольных сейсмических волн 3—4 км/с (Г. П. Аветисов, 1971). Удельные электрические сопротивления мерзлых терригенных отложений 1—4 тыс. Ом·м, талых (насыщенных отрицательно-температурными рассолами) — 60—150 Ом·м. Вышеприведенные данные свидетельствуют о том, что аргиллиты, алевролиты и песчаники обладают значительной пористостью и поэтому существенно разнятся по своим свойствам в мерзлом и немерзлом состояниях.

Молассовая формация объединяет отложения начиная с позднего мела до неогена включительно и слагает острова Фаддеевский, Новая Сибирь, Айон, а также выполняет впадины-грабены на островах Бол. Ляховском, Котельном, Врангеля.

На островах Анжу в районе Деревянных гор она представлена нерасчлененными верхнемеловыми и палеоценовыми отложениями: глинами, туфогенными песками с прослоями песчаников, аргиллитов и бурых углей. В состав верхнемеловых отложений островов Анжу и Де-Лонга входят покровы базальтов и липаритов мощностью до 100 м. Общая мощность формации 1500—1600 м (Иванов, 1973). Породы разбиты густой сетью разрывных нарушений с амплитудами вертикальных смещений 15—20 м. Углы падения пород от 10 до 50°, иногда до 60° (Вольнов, Сороков и др., 1970).

Отложения эоцен-олигоценового и неогенового возраста на островах Котельном, Фаддеевском, Бельковском и Бол. Ляховском представлены аргиллитоподобными глинами, алевролитами, алевритами, песчаниками, песками, галечниками и конгломератами с пластами бурых углей, с прослоями и включениями лигнитизированной древесины. Общая мощность отложений свыше 100 м. Мощность прослоев песчано-алеврито-глинистого состава от 0,3 до 30 м, галечников и конгломератов— 0,4—1,2 м, бурых углей — 1,8—3 м. В основании описываемой толщи нередко залегают глинистые коры выветривания мощностью от 2,5 до 15 м (о. Бол. Ляховский). Глины очень плотные, с включением дресвы и щебня до 20%, обладают твердомерзлой консистенцией с массивной криогенной текстурой, имеют включения льда в виде вкрапленников около 2% диаметром до нескольких миллиметров.

Аргиллитоподобные глины с тонкослоистой текстурой содержат тонкие прослои песков и углистого вещества, включения гравия, гальки, лигнитизированной древесины. Глины часто трещиноваты, в мерзлой зоне имеют твердомерзлую консистенцию, массивную криогенную текстуру и содержат включения льда до 3% по трещинам и в виде отдельных мелких зерен.

Алевролиты и алевриты менее плотные, чем глины. Они слабо сцементированы, содержат прослои до 15 см лигнитизированной древесины. В мерзлой зоне криогенная текстура массивная, редко слоистая. Толщина прослоев льда 1—3 мм, ледяных включений — до 5%.

Песчаники обычно мелкозернистые слабо сцементированные. В мерзлой зоне они содержат включения льда до 5%, а в зоне криопегов насыщены отрицательно-температурными хлоридными натриевыми рассолами. Пески в большинстве случаев мелкие, с массивной криогенной текстурой и поровым льдом в виде цемента. Под мерзлой зоной пески насыщены рассольными водами с отрицательной температурой и в скважинах обладают свойствами ложных плывунов — образуют пробки, сильно разжижаются.

Таблица 39

Физические свойства олигоцен-неогеновых отложений молассовой формации

Породы	Объемная масса, г/см³	Суммарная влажность, %	Относительная льдистость включений
Глины коры выветривания	1,65—1,81	—	0,01—0,02
Аргиллитоподобные глины	1,65—1,82	—	0,01—0,03
Песчаники	1,8—2,02	—	0,02—0,05
Песок	1,87—2	11,5—23	0,01—0,04
Бурый уголь	1,06—1,57	—	0,03—0,07

Бурый уголь слабо трещиноват. В мерзлой зоне обладает твердомерзлой консистенцией, поровой и трещинной льдистостью.

В табл. 39 приводятся некоторые физические показатели олигоцен-неогеновых отложений, изученных по единичным анализам керна скважин о. Бол. Ляховского.

К морским нижнеплейстоценовым отложениям условно могут быть отнесены пески и галечники мощностью 5—15 м, залегающие на коре выветривания в основании четвертичного покрова на о. Бол. Ляховском. Породы твердомерзлые, с массивной или слоистой криогенной текстурой, льдистость до 10—15%. Физические свойства отложений приведены в табл. 40.

Морские и прибрежно-морские отложения среднего плейстоцена представлены глинами, суглинками, супесями и пылеватыми песками с маломощными прослоями и линзами аллохтонного торфа (острова Новая Сибирь, Фаддеевский и Бол. Ляховский). Породы твердомерзлые, со слоистыми и сетчатыми криогенными текстурами и льдистостью до 30—50%, мощностью 20—30 м. Физические свойства отложений приведены в табл. 40. Льдистость за счет текстурообразующегося льда 20—50%, с учетом жильного льда — 60—75%.

Озерно-аллювиальные отложения позднего плейстоцена широко распространены на островах и представлены пылеватыми супесями и суглинками (алевриты) мощностью 20—30 м. В термокарстовых озерах и в настоящее время формируются супесчано-торфянистые отложения. Для озерно-аллювиальных отложений островов в целом характерны повышенное содержание органических веществ, мерзлое состояние и весьма высокая льдонасыщенность.

Морские отложения позднего плейстоцена развиты в северной части островов Анжу и представлены суглинками, супесями и песками с мощными пластами подземных льдов. Отложения, находящиеся в твердомерзлом состоянии, объемной льдистостью 85—90% (с учетом пластовых льдов). В сезонноталом слое суглинки очень вязкие, обладают текучепластичной консистенцией. Физические свойства отложений приведены в табл. 40. Широко развиты клиновидные и мощные пластовые льды.

Первые мощностью 4—6 м распространены преимущественно на аласах и в речных аласовидных долинах, сложенных супесями и суглинками (алевритами). Они образуют на поверхности полигональную решетку, размеры сторон которой от 10—15 до нескольких десятков метров. Горизонтально-слоистые супеси между ледовыми клиньями обнаруживают микроскладчатость. Высота микроскладок, образовавшихся под влиянием горизонтальных напряжений при росте ледовых жил, на южном берегу о. Бол. Ляховского достигает 0,6—1 м при ширине 2—7 м. Пластовые льды мощностью до 20—30 м встречаются на участках с крупнохолмистым и грядовым рельефом, окаймляющим часто аласы и речные долины. Сверху льды обычно прикрыты мохово-торфянистым слоем и супесями мощностью 0,5—0,7 м. В береговых обрывах в льдах наблюдаются овальные линзы переслаивающихся алевритов и торфов мощностью 5—15 м и длиной 10—15 м, являющихся осадками спущенных термокарстовых озер. Физические свойства отложений приведены в табл. 40.

Ледниковые отложения позднего плейстоцена, представленные валунниками и галечниками с суглинками и глинами, слагают отдельные моренные холмы и гряды о. Врангеля. Отложения твердомерзлые, малольдистые.

Нерасчлененные морские и аллювиальные отложения позднего

Таблица 40

Физические свойства плейстоценовых и голоценовых отложений

Отложения	Плотность, г/см³	Объемная масса, г/см³	Объемная масса скелета, г/см³	Коэффициент пористости	Влажность суммарная, %	Предел текучести, %	Предел раскатывания, %	Число пластичности	Льдистость включений	Засоленность, %	Количество определений, шт.	Место отбора образца
Песок крупный, mQ_I	2,61	1,67—2,24	—	—	—	—	—	—	0,05—0,15	—	4	о. Бол. Ляховский
Глины, mQ_{II}	2,4—2,71	1,86—2,06	—	—	—	25,47—43,02	15,15—23,81	19,21—20,23	0,04—0,16	—	4	там же
Суглинки, mQ_{II}	2,67—2,69	1,36—2,05	1 —2,51	0,76—1,68	13,5—37,1	28,33—41,54	13,95—26,67	9,15—14,87	0,01—0,3	—	14	»
Супеси, mQ_{II}	2,67	1,56—1,79	—	—	30,8—46,1	25,47	20	5,47	0,15—0,35	—	16	»
Пески с прослоями торфа, mQ_{II}	2,52—2,61	1,55—1,95	—	—	8,7—19,6	—	—	—	0,06—0,1	—	8	»
Суглинки пылеватые, mQ_{III}	2,68—2,7	1,61—1,95	1,05—1,58	0,38—1,56	23—53	27,7—28,6	20,6—21,4	7,1—7,2	0,1—0,4	0,15	4	о. Котельный
Супеси пылеватые, mQ_{III}	2,64—2,68	1,29—1,85	0,56—1,38	0,51—3,76	34,4—133,2	23,1—24,7	18,7—19,9	4,4—4,8	0,24—0,47	0,2	4	там же
Песок пылеватый, mQ_{III}	2,65	1,87—1,95	1,39—1,62	0,47—0,64	19,6—35	не пластичен			0	0,08	2	»
Алевриты, laQ_{III}	2,46—2,68	1,56—1,76	1,08—1,37	0,95—1,46	27,8—44,5	33,5—36	25,6—31,4	4,7—7,9	0,12—0,45	0,12	21	о. Бол. Ляховский, Котельный
Суглинки пылеватые, mQ_{III-IV}	2,72	1,25—1,7	—	—	—	27—37	18—28	8—10	—	—	4	о. Врангеля
Супеси пылеватые, mQ_{III-IV}	2,72—2,75	1,35—1,72	—	—	—	21	14—17	4—7	—	—	4	там же
Гравийный грунт, mQ_{III-IV}	2,69—2,74	1,53—1,86	—	—	не пластичен				—	—	10	»
Галечниковый грунт, mQ_{III-IV}	2,72—2,74	1,7 —1,8	—	—	не пластичен				—	—	12	»
Суглинки, edQ_{III-IV}	2,47—2,48	1,52—1,72	1,21—1,44	0,72—1,05	18,2—26,3	32,3—42,2	22,6—27,4	9,7—14,8	0,04—0,12	0,06—0,49	2	о. Котельный
Галечниковые грунты, mQ_{IV}	2,76—2,8	2,3—2,35	2,02—2,19	0,27—0,3	5,7—19,8	не пластичен			0,05—0,07	—	1	там же
Ледогрунт, mQ_{IV}	—	1,17—1,4	—	—	0,3	—	—	—	0,3—0,4	9,92	6	о. Бол. Ляховский

Примечание. Для образцов с о. Врангеля объемная масса определена в сухом состоянии нарушенной структуры.

плейстоцен-голоцена, представленные галечниковыми и гравийными грунтами, реже песками, супесями и суглинками, слагают невысокие террасы и прибрежные равнины. Мощность этих отложений от 3—4 до нескольких десятков метров (данные электроразведочных работ на Земле Бунге). Отложения имеют твердомерзлую консистенцию и невысокую льдистость. Физические свойства отложений приведены в табл. 40.

Элювиально-делювиальные и коллювиальные отложения позднего плейстоцен-голоцена на склонах и водоразделах гор и плато мощностью 1—3 м, у подножия высоких склонов достигают 5—10 м. Они представлены крупными глыбами до 1,5—2,5 м и щебнем с супесчаным или песчаным заполнителем, суглинками, супесями и песками с дресвой и щебнем. Количество заполнителя от 3 до 50%. В мерзлой зоне отложения обладают сыпучемерзлой и твердомерзлой консистенцией, высокой льдистостью. Физические свойства отложений приведены в табл. 40.

Ледниковые отложения голоцена мощностью до 20—25 м, состоящие из обломков местных пород размером до 1 м в поперечнике с небольшим количеством супесчаного заполнителя, развиты среди ледников на островах Беннета, Генриетты и Жаннетты, обладают сыпучемерзлой и твердомерзлой консистенцией.

Аллювиальные отложения голоцена мощностью 0,5—8 м слагают русла и поймы рек. В пределах гор они представлены преимущественно галечниковыми, гравийными грунтами и песком, на аккумулятивных равнинах — пылеватыми супесями и суглинками, реже — песками. Крупнообломочные отложения в мерзлой зоне обладают обычно сыпучемерзлой консистенцией, малой льдистостью. Песчаные и глинистые породы твердомерзлые, малольдистые. В сезонноталом слое крупнообломочные породы и пески плотного сложения, глинистые обычно находятся в текучем состоянии.

Морские отложения голоцена, слагающие неширокие морские пляжи, косы, береговые валы, представлены галечниками и гравийными грунтами, песками и супесями мощностью до 10 м. Отложения в мерзлой зоне обладают сыпучемерзлой и твердомерзлой консистенцией, массивной и слоистой криогенными текстурами. Пески и крупнообломочные отложения в сезонноталом слое обладают среднеплотным сложением, на границе с мерзлой зоной насыщены пресной или соленой морской водой. Физические свойства отложений приведены в табл. 40.

Аллювиально-морские отложения голоцена (?), слагающие основание кос, лайды, полосы осушения и берега лагун, представлены супесчано-илистыми осадками, содержат значительное количество слаборазложившихся органических веществ. В мерзлом состоянии эти отложения характеризуются атакситовой криогенной текстурой, по существу представляя собой ледогрунт. В сезонноталом слое консистенция текучая, породы представляют собой вязкий ил.

Мерзлотно-гидрогеологические условия

Многолетнемерзлая зона островов распространена повсеместно, прерываясь лишь в редких узких таликах, приуроченных к разломам на дне глубоких речных долин, по которым осуществляется разгрузка отрицательно-температурных рассольных вод. Мощность деятельного слоя для супесчано-суглинистых отложений 0,3—0,6 м, для песчаных и

крупнообломочных 0,5—1,1 м, под мохово-торфянистой подушкой 0,1—0,2 м. Мощность мерзлой зоны по данным буровых работ в прибрежной части о. Бол. Ляховского 60—122 м, на о. Котельном и Земле Буиге в прибрежной части (по данным вертикального электрозондирования) — 30—150 м, с удалением от берегов на 15—30 км мощность увеличивается до нескольких сотен метров.

По данным замеров в скважинах на о. Бол. Ляховском температура пород мерзлой зоны у подошвы слоя с годовыми теплооборотами минус 10,5—11,5°.

Подземные льды пресные с минерализацией 0,07—0,44 г/кг. Воды, образующиеся при таянии льда, гидрокарбонатные кальциевые и гидрокарбонатно-хлоридные натриевые с pH 7—9, обладают часто выщелачивающей агрессивностью к бетону и средней коррозионной активностью к металлам.

Надмерзлотные воды островов приурочены к сезонноталому слою. В крупнообломочном песчаном аллювии речных пойм в летнее время они образуют грунтовые потоки пресных вод мощностью 0,2—0,8 м, питающие источники с расходами в сотые — десятые доли литра в секунду. К морским песчаным и гравийно-галечниковым отложениям приурочены сезонные надмерзлотные, преимущественно пресные воды. При откачке из шурфов на о. Котельном, вскрывших водоносный горизонт мощностью 0,4 м с расходом до 60 м/сут, понижения уровня воды достигнуть не удалось. В деятельном слое узких (до 10—30 м) гравийно-галечных кос во время приливов и отливов отмечается перетекание морских вод из моря в лагуны и обратно. Надмерзлотные воды слабоминерализованные с pH 7—8, часто обладают выщелачивающей агрессивностью к бетону. Лишь в узких песчаных прибрежно-морских косах встречаются соленые воды, обладающие сульфатной и магнезиальной агрессивностью к бетону; коррозионная активность вод к металлам — средняя.

Межмерзлотные воды — это преимущественно воды повышенной минерализации, не замерзающие при отрицательных температурах. Они присутствуют в мерзлых глинистых отложениях, в бурых углях и торфах наряду со льдом. Миграция вод и их замерзание приводят к формированию подземных льдов. Среди солей, растворенных в этих водах, преобладают хлориды натрия и кальция. Наличие межмерзлотных вод в отдельных случаях обусловливает среднюю коррозионную активность мерзлых пород к черным и цветным металлам.

Подмерзлотные воды, изученные на Новосибирских островах, представлены двумя типами — пластовыми и трещинно-жильными. Первые приурочены к артезианским бассейнам. Они заключены в олигоцен-неогеновых песках мощностью от нескольких сантиметров до 18 м и более. Воды напорные, вскрыты скважинами на о. Бол. Ляховском на глубине 60—122 м. Высота напора 52—117 м. Пьезометрическая поверхность подмерзлотных вод располагается на абсолютных отметках, близких к нулю. Подмерзлотные пластовые воды на Земле Бунге и о. Фаддеевском, судя по данным электроразведочных работ, залегают вблизи морского побережья с глубины 30—150 м, к центру островов — на глубине до первых сотен метров. Трещинно-жильные подмерзлотные воды приурочены к породам складчатого фундамента. Разгрузка их осуществляется на дне долины р. Решетникова на о. Котельном (Неизвестнов, 1973). Эти воды из зоны разлома просачиваются в аллювиальные галечники, оттуда выклиниваются в русло реки, формируя зимний сток рассольных отрицательно-температурных вод (минус 6—9°). Притоки как пластовых, так и трещинно-жильных подмерзлотных

вод в выработки исчисляются сотыми и десятыми долями литров в секунду. Однако при длительных откачках и водоотливе, в случае подсоса менее минерализованных и более теплых вод с меньшей вязкостью и повышенной растворяющей способностью, возможно катастрофическое увеличение водопритоков. Последние особенно резко возрастают при растворении мирабилита и частично льда, заполняющих поры и трещины пород. По химическому составу и концентрации солей подмерзлотные отрицательно-температурные воды представляют собой хлоридные натриевые рассолы с минерализацией 107—120 г/л, pH 7—8. По содержанию магнезиальных солей и сульфатов рассолы агрессивны к бетону, обладают высокой коррозионной активностью к черным и цветным металлам.

Современные геологические процессы и явления

Интенсивные современные вертикальные движения установлены на о. Бол. Ляховском. Скорость поднятия м. Кигилях 6,7 мм в год, м. Шелаурова — 5,2 мм в год (Борисов, 1973). Между поднимающимися мысами отдельные участки берега несомненно испытывают погружение настолько быстрое, что, несмотря на интенсивное его разрушение, пляж совершенно не образуется. Зоны с повышенной контрастностью вертикальных движений, охватывающие западную часть Новосибирских островов и о. Врангеля (?), являются сейсмическими со средней сейсмической балльностью, равной 6. Повышенная сейсмическая балльность этих районов связана с эпицентрами землетрясений, расположенных вне островов.

Разрушение скальных пород, обнажающихся на склонах и вершинах гор и возвышенных плато, осуществляется главным образом морозным выветриванием и нивацией. При этом образуются нагорные террасы с крутыми, усеянными щебнем и глыбами склонами, останцы-кекуры, кароподобные ниши; происходит гольцовое выравнивание. В известняках в бортах долин, подмываемых реками, образуются карстовые пещеры и ниши высотой 1—15 м, глубиной до 8 м (о. Котельный). Гравитационные и склоновые процессы приводят к формированию предгорных шлейфов, конусов выноса, каменных рек (курумов). Ледники, спускающиеся с куполов о. Генриетты, местами достигают моря, выпахивая троговые долины (Шумский, 1939). Значительное содержание мелкозема в предгорных шлейфах приводит к пучению и образованию многолетних бугров высотой 1—2 м.

На аккумулятивных равнинах с мощными пластовыми льдами развиты термокарстовые процессы. На участках равнин, испытывающих преимущественно восходящие движения, термокарстовые озера, образующиеся в нивационных нишах, морозобойных трещинах и других углублениях, не достигают больших размеров, ограничиваясь обычно десятками метров в поперечнике. Термокарстовые котловины в условиях поднятий довольно быстро дренируются. При этом протаивание дна котловин сменяется промерзанием отложений, сформировавшихся в термокарстовых озерах, сопровождается морозным пучением с образованием бугров высотой 1,5—4 м. По бортам термокарстовых котловин развиваются солифлюкционные оползни, захватывая полосы шириной 6—15 м. Ручьи, выводящие воду из котловин, вырабатывают довольно глубокие аласовидные долины глубиной до 20—30 м.

На опускающихся участках равнин озера, характеризующиеся продолжительным существованием, испытывающие лишь незначительную миграцию своего ложа, вырабатывают обширные, до нескольких десятков километров протяженностью, пространства с ровной поверхностью, иногда имеющие форму замкнутых котловин овальной формы (аласы). В них происходит рост повторно-жильных льдов, начинающийся с морозобойного растрескивания и образования полигональных поверхностей. Термокарст, развивающийся по полигонально-жильным льдам, приводит к появлению оврагов и оврагоподобных долин рек глубиной 10 м и более. На склонах долин образуются оползни и байджарахи высотой 2—6 м. В днищах аласов и речных долин встречаются бугры пучения высотой 1—3,5 м. Берега, испытывающие поднятие, сложенные целиком скальными породами, разрушаются морем незначительно; морские волны вырабатывают в них ниши и небольшие пещеры глубиной 1—3 м (Григорьев, 1966). Если скальные породы слагают лишь цоколь высотой несколько метров, на котором залегают высокольдистые, мерзлые, четвертичные отложения, происходит быстрое отступание бровки берегового склона при почти стабильном положении коренного цоколя. Отступание берегов, почти целиком сложенных льдом, для островных побережий моря Лаптевых и пролива Дмитрия Лаптева может достигать 3,5 м в год. Подножие береговых уступов на таких участках загромождено глыбами подземного льда мощностью в поперечнике до 10—20 м. Наиболее интенсивно разрушаются берега на участках, испытывающих устойчивое опускание. Здесь море вырабатывает ниши глубиной до 5—10 м в подземном льде и мерзлых четвертичных отложениях, береговые карнизы обрушиваются и быстро размываются волнами. Скорость отступания берегов превышает 5—10 м в год (Хмизников, 1937; Аверина и др., 1962; Григорьев, 1966). В море Лаптевых в 1936 г. термоабразия полностью уничтожила о. Васильевский, в 1951 г. — о. Семеновский и еще ряд мелких островов в проливе Дмитрия Лаптева.

На низменных песчано-галечных морских берегах следует отметить навалы морского льда, достигающие в прибрежной полосе ширины 10—15 м. Развевание песков отмечалось лишь на о. Земля Бунге (Аверина и др., 1962).

РЕГИОНЫ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

ХИНГАНО-БУРЕИНСКИЙ РЕГИОН

Регион расположен в западной части Буреинской горной области, морфологически совпадающей с поднятием Буреинского массива.

Рельеф региона горный. Северная его половина занята крупным сводовым поднятием — хр. Турана, ориентированным субмеридионально. В южной части расположены западные отроги Буреинского хребта и горы Малого Хингана, состоящие из отдельных горных массивов и разобщенных межгорными понижениями хребтов северо-восточного и субширотного простирания. Горные сооружения представляют собой эрозионно-денудационное массивное низкогорье, окруженное с запада, юго-востока и востока полосой холмистых и холмисто-грядовых предгорий. Преобладают горы массивных очертаний с выположенными куполовидными водоразделами и крутыми, иногда обрывистыми в основании склонами, глубоко расчлененные узкими трапециевидными речными долинами, почти совершенно лишенными аллювиальных террас. Лишь северо-восточные отроги хребтов и отдельные вершины в их

осевой части (достигающие 1200—1400 м) имеют более резкие очертания.

Речные долины в плане подчинены основным направлениям тектонической трещиноватости пород. Наиболее крупные из них (долины Буреи, Тырмы, Яурина и других) заложены вдоль долгоживущих разломов и на значительном протяжении имеют каньонообразную форму.

Климату региона присущи отрицательные среднегодовые температуры воздуха от 0 на юге до —4,9° на севере, большие годовые и суточные контрасты температур и значительное количество осадков (650—800 мм), бо́льшая часть которых (до 80%) выпадает в теплый период года, что вызывает летне-осенние паводки на реках, иногда катастрофические наводнения. Отрицательные среднегодовые температуры воздуха, глубокое сезонное промерзание грунтов — до 3 м, значительное снижение зимних температур воздуха в узких субмеридиональных долинах за счет его инверсии и другие факторы способствуют сохранению на ряде участков многолетней мерзлоты. Многолетнемерзлые породы наиболее распространены на севере региона (сплошная мерзлота в днищах речных долин и на склонах северной экспозиции). Мощность их достигает 60—70 м, температура в подошве слоя с годовыми колебаниями минус 1,8—2°. Для южной половины территории характерны долинное распространение многолетнемерзлых пород и значительно меньшие их мощности (не более 3—5 м). Температура мерзлых грунтов практически равна нулю с отклонениями до минус 0,2, реже —0,5°. На крайнем юге многолетнемерзлые породы отсутствуют.

Регион расположен в зоне тайги. Большая часть гор ниже гольцового пояса покрыта хвойными, а предгорья и долины рек — смешанными лесами. Исключение составляют участки вблизи населенных пунктов, где лесной покров нарушен хозяйственной деятельностью человека и лесными пожарами.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Тектонически рассматриваемая территория соответствует поднятию Буреинского массива — крупной глыбе поздних байкалид, испытавшей в позднем палеозое и мезозое явления тектоно-магматической активизации. В позднем палеозое (возможно, раннем триасе) явления активизации выразились во внедрении по крупным расколам огромных масс гранитоидов, переработавших и консолидировавших массив. С позднемезозойскими и более молодыми движениями связаны раскалывание поднятия, активный вулканизм и формирование вдоль глубинных разломов, преимущественно в его краевых частях, наложенных прогибов.

Поднятие почти целиком сложено ранне- и позднепалеозойскими (возможно, и раннетриасовыми) гранитоидами (рис. 43), среди которых в отдельных тектонических блоках или в виде остатков кровли плутонов сохранились нижне-среднепротерозойские метаморфические породы и метаморфизованные верхнепротерозойские — кембрийские отложения (терригенно-карбонатная формация), а также девонские осадочные и вулканогенные образования (карбонатно-терригенная и дацито-липаритовая формации).

Позднемезозойские наложенные прогибы выполнены породами вулканогенных и молассовой формаций. Местами краевые части прогибов перекрыты покровами нижнечетвертичных платобазальтов. Четвертич-

ные отложения незначительной мощности представлены образованиями склонового ряда и аллювиальными отложениями.

Метаморфические породы допоздиепротерозойского возраста выходят на поверхность на ограниченных участках и представлены разнообразными гнейсами и кристаллическими сланцами, возникшими в результате регионального метаморфизма песчано-глинистых, в меньшей мере вулканогенно-осадочных отложений в условиях амфиболитовой и зеленосланцевой фаций. Ведущая роль принадлежит биотитовым и двуслюдяным гнейсам и сланцам. Встречаются кварциты, амфиболиты, амфиболовые гнейсы и мраморы. Изредка отмечаются мелкие межпластовые тела, залежи и линзы серпеитинитов, серпентинизированных перидотитов и дунитов. Общая мощность отложений до 4000 м. Почти повсеместно породы содержат послойные, реже секущие жилы

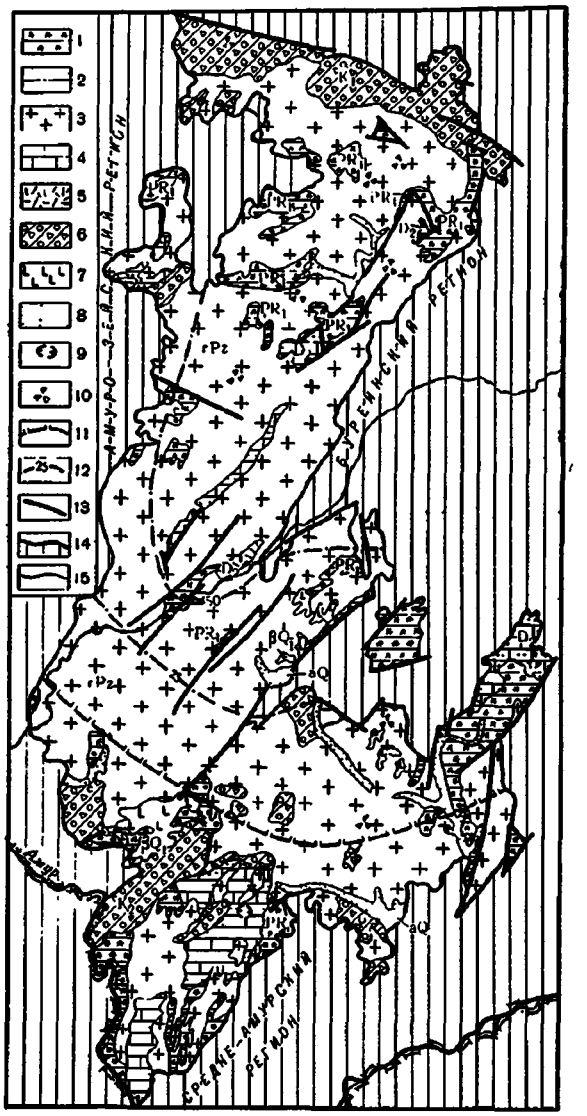


Рис. 43. Схематическая инженерно-геологическая карта Хингано-Буреинского региона.

Формации: 1 — метаморфическая (PR_1); 2 — терригенно-карбонатная (PR_3—$\in_1$); 3 — гранитоидная (PZ_3); 4 — карбонатно-терригенная (D_2) 5 — дацито-липаритовая (D_2); 6 — андезитовая и дацито-липаритовая (J_3, K); 7 — базальтовая (Q_I); 8 — геолого-генетический комплекс аллювиальных отложений (aQ). Физико геологические явления: 9 — карст; 10 — осыпи; 11 — граница островной многолетней мерзлоты; 12 — изолинии мощности многолетнемерзлых пород; 13 — тектонические нарушения; 14 — граница региона и сопредельные территории; 15—границы формаций

и линзы кварца мощностью до 0,5 м. С породами серии пространственно тесно связаны (и потому рассматриваются в составе единого комплекса) протерозойские гранитоиды, образующие небольшие (от 2 до 300 км^2) тела, не имеющие с вмещающими породами резких границ и послойно их инъецирующие в приконтактовой зоне.

Гранитоиды представлены плагиогранитогнейсами, биотитовыми гранитогнейсами, лейкократовыми и биотитовыми гранитами, гранодиоритами, катаклазированными и окварцованными, обладающими преимущественно гнейсовидной; редко массивной текстурой.

Гнейсы и кристаллические сланцы интенсивно дислоцированы — собраны в узкие крутые складки (45—80°) близмеридионального или северо-восточного простирания, осложненные мелкой складчатостью вплоть до плойчатости и гофрировки слоев. На отдельных участках отмечаются дугообразные структуры. До глубины 70—80 м, реже до 150 м, породы неравномерно трещиноваты. Наибольшей интенсивности (до 30 трещин на 1 м^2) трещиноватость достигает в зоне выветривания до 6,5 м, в горизонтах кристаллических сланцев и в зонах тектонических нарушений. Трещины преимущественно крутопадающие, шириной 0,1—2 см, как правило, заполнены дресвой, глинистым материалом, реже залечены кальцитом или открытые.

Гнейсы достаточно устойчивы к процессам выветривания и обладают высокой механической прочностью, выдерживая в отдельных образцах нагрузки от $1300 \cdot 10^5$ до $1500 \cdot 10^5$ Па (по данным единичных определений).

Кристаллические сланцы характеризуются тонкой сланцеватостью, благодаря чему значительно легче гнейсов поддаются выветриванию. По данным Ленгидропроекта, временное сопротивление сжатию сланцев колеблется от $730 \cdot 10^5$ до $1500 \cdot 10^5$ Па (6 определений). Наименьшая прочность характерна для образцов, содержащих большое количество слюды и обладающих тонкополосчатой текстурой.

Гранитоиды характеризуются значительной крепостью, устойчивостью к выветриванию. Обладают плитчатой либо крупноглыбовой отдельностью. По единичным данным, временное сопротивление сжатию гранитоидов в воздушно-сухом состоянии составляет $1000 \cdot 10^5$ — $1100 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $990 \cdot 10^5$—$1010 \cdot 10^5$ Па.

Образования терригенно-карбонатной формации позднего протерозоя-раннего кембрия сохранились преимущественно на юге региона, где в виде отдельных разобщенных блоков заключены среди палеозойских гранитоидов. Для разреза формации характерно чередование терригенных и карбонатных толщ. Первые мощностью 1000—1500 м образованы разнообразными по составу и степени метаморфизма сланцами, сланцеватыми алевролитами, меньше кварцитами, метаморфизованными песчаниками, иногда с редкими прослоями и пачками мраморов, в верхах разреза с горизонтами железистых кварцитов. Среди сланцев в основании комплекса наиболее развиты кварцево-биотитовые, кварцево-графитовые, графитовые, силлиманит-слюдяно-кварцевые разновидности. В верхней части разреза преобладают кремнисто-серицитовые, филлитовидные, глинистые и углисто-глинистые разности. Карбонатные толщи мощностью 600—1000 м сложены известняками и мраморами, в средней части разреза — доломитами, с резко подчиненным количеством филлитов, углисто-глинистых, кремнистых и карбонатных сланцев. Вблизи контактов с гранитоидами породы превращены в разнообразные кристаллические сланцы, гнейсы, роговики, кварциты, мраморы, кальцифиры и скарнированные породы, часто послойно инъецированы гранитным материалом. Мощность формации 5000—7000 м.

Все перечисленные образования смяты в крупные (шириной от 2 до 9 км, протяженностью в несколько десятков километров) линейные складки меридионального или северо-восточного простирания, осложненные складками более высокого порядка. Формы складок в карбонатных толщах сложнее, чем в терригенных. В поле распространения терригенно-карбонатных пород широко развиты разрывные нарушения типа сбросов и надвигов, преимущественно меридионального простира-

ния. Разломы сопровождаются зонами катаклаза и милонитизации пород (мощностью от 0,1 до 20 м).

Карбонатные породы кристаллические (от мелко- до крупнозернистых), крепкие массивные или грубослоистые, характеризуются крупноглыбовой или параллелепипедальной отдельностью, высокой механической прочностью. Они выдерживают в отдельных образцах в сухом состоянии давления от $743 \cdot 10^5$ до $2845 \cdot 10^5$ Па (табл. 41). Наи-

Таблица 41

Физико-механические свойства пород терригенно-карбонатной формации
(по данным Дальневосточного территориального геологического управления)

Возраст	Породы	Количество определений	Плотность, г/см³	Объемная масса, г/см³	Пористость, %	Водопоглощение, %	Временное сопротивление сжатию, 10^5 Па: сухого образца	Временное сопротивление сжатию, 10^5 Па: водонасыщенного образца
PR_3	магнезит свежий	2	2,97	2,92	1,7	0,1—0,18	2845	
То же	магнезит скрыто трещиноватый	3	2,97	2,85—2,94	4,4	0,2—0,5	1423—1606	1337—1550
»	доломит	25	2,81—2,9	2,71—2,84	1,1—2,8	0,24—1,61	1126—2307	
»	кальцифир	3	2,77—2,98	2,6—2,8	1,8—9,1	0,03—0,43	923—1483	735—1399
»	известняк мраморизованный монолитный	7	2,71—2,78	2,68—2,73	0,36—2,51	0,13—0,27	743—1150	
$Є_1$	известняк кристаллический . .	4	2,71—2,74				440—1519	703—1100
То же	сланцы известково- и углисто-глинистые	12	2,65—2,72	2,28—2,63	0,75—1,6	0,21—3,19	533—1133	450—1083

большие значения характерны для невыветрелых разностей магнезитов и доломитов, залегающих в основании комплекса, а также для кальцифиров и мраморов, образовавшихся в зоне контактового воздействия гранитоидов. Эти же разности пород характеризуются слабой растворимостью, о чем свидетельствует незначительное развитие карста в поле их распространения. В осиовном карст приурочен к известнякам верхней части разреза в виде воронок различных размеров диаметром от 1,5 до 20 м и глубиной от 1 до 8 м, колодцев, реже провалов и пещер (8×3×2 м). Небольшие карстовые пустоты и каверны, нередко заполненные продуктами разрушения известняков, отмечаются также в скважинах на глубине до 50 м (Богатков, 1957), реже до 70—80 м (Караванов, 1964).

Серицитовые, кремнисто-серицитовые и филлитовидные глинистые сланцы — тонкоплитчатые породы, интенсивно выветривающиеся и распадающиеся вблизи поверхности на мелкую щебенку. Они образуют наиболее слабые прослои в массивах, часто определяющие их прочность, в частности устойчивость пород на склонах. В сухом состоянии сланцы выдерживают нагрузки от $530 \cdot 10^5$ до $1100 \cdot 10^5$ Па (по единичным определениям).

Песчаники и алевролиты, как правило, тонкорассланцованные.

Породы карбонатно-терригенной и дацито-липаритовой формаций девона распространены незначительно и практически не изучены.

Карбонатно-терригенная формация сложена песчанистыми известняками, доломитами и известковистыми песчаниками, смятыми в пологие складки.

Дацито-липаритовая формация представлена кварцевыми порфирами, заключающими горизонты фельзитов, фельзит-порфиров и лавобрекчий кварцевых порфиров. Общая мощность толщи 700—900 м.

Большая часть региона (до 80%) сложена породами гранитоидной формации, объединяющей раннепалеозойские гранитоиды, сформировавшиеся в орогенную стадию развития позднебайкальской геосинклинальной области, и позднепалеозойские (возможно, раннетриасовые) гранитоиды и щелочные и субщелочные граниты, образование которых связано с тектоно-магматической активизацией Буреинского массива. Наибольшим распространением пользуются породы нормального ряда. Они слагают обширные поля в несколько тысяч квадратных километров, образованные слившимися, почти не разделенными перемычками вмещающих пород, крупными массивами вытянутой лентообразной либо неправильной формы, как правило, контролируемыми разломами северо-восточного, субмеридионального, реже северо-западного направлений. Часть массивов представляет собой крутопадающие трещинные плутоны, часть в виде пологонаклонных залежей трещинного типа, падающих в южном и юго-западном направлениях. Щелочные и субщелочные граниты образуют несколько мелких штоков, приуроченных к тектоническому нарушению северо-восточного простирания в среднем течении р. Буреи.

Строение отдельных массивов гранитоидов отличается неоднородностью, выражающейся в изменчивости состава пород, их структуры и текстуры, что обусловлено многоэтапностью и многофазностью их внедрения. В пределах хр. Турана преобладают амфибол-биотитовые и биотитовые граниты и гранодиориты, среди которых заключены вытянутые лентообразные тела лейкократовых гранитов. На юге региона развиты преимущественно биотитовые и двуслюдяные граниты, в краевых частях отдельных массивов постепенно переходящие в плагиограниты, гранодиориты и кварцевые диориты. Крайне редко отмечаются мелкие тела диоритов, габбро-диоритов и габбро. Для большей части биотитовых и амфибол-биотитовых гранитов характерна порфировидная структура, обусловленная наличием крупных (до 2,5 мм) вкрапленников калиевого полевого шпата, количество которых нередко достигает 25—40%. Двуслюдяные и лейкократовые граниты обладают среднезернистой структурой, в краевых фациях — мелкозернистой, иногда пегматоидной или порфировой. Наряду с этим в отдельных массивах выделяются все разности пород, от мелкозернистых до крупнозернистых, с незакономерными быстрыми или постепенными переходами. Текстура пород массивная, реже гнейсовидная. Последняя обычно характерна для катаклазированных гранитов, развитых в виде зон северо-восточного простирания шириной в несколько километров вдоль западных склонов хр. Турана и на простирании Буреинского и Тырминского прогибов. Дайковый комплекс, сопровождающий интрузии гранитоидов, представлен жилами (0,1—2 м) аплита, пегматита, гранит-порфира, реже дайками кварцевых порфиров и фельзит-порфиров. Контактовый метаморфизм проявляется в ороговиковании, мигматизации и окварцевании вмещающих пород в зоне шириной от сотен метров до нескольких километров.

Гранитоиды характеризуются повышенной и неравномерной трещиноватостью. Они разбиты многочисленными сбросами северо-восточного, северо-западного и близширотного простирания, сопровождаемыми зонами дробления мощностью от 15 до 200 м, в пределах которых породы рассечены крутопадающими трещинами через 2—20 см. Тектонические трещины и зоны дробления выполнены, как правило, дресвянистыми катаклазитами и милонитами, иногда растертыми до глинистого состояния. Вне зоны сильной тектонической трещиноватости граниты, как правило, массивные (скважины дают 100%-ный выход керна), разбиты лишь трещинами отдельности на крупные блоки (до 1×2) параллелепипедальной формы. Ширина трещин до 1 см, в верхней зоне выветривания — до 10 см. Трещины открытые либо заполнены рыхлым супесчаным или дресвяным материалом. С глубиной ширина трещин уменьшается и в интервале 50—60 м они переходят в плотносомкнутые. С поверхности до глубины 3—5 м гранитоиды часто разрушены до состояния щебня и дресвы. Неизмененные слаботрещиноватые разности гранитоидов имеют плотность 2,61—2,8 г/см^3, объемную массу 2,6—2,7 г/см^3, пористость 1—3,6%, водопоглощение 0,2—0,8%, отличаются высокой механической прочностью, временное сопротивление сжатию в сухом состоянии от $900 \cdot 10^5$ до $2200 \cdot 10^5$ Па (25 определений). Прочность выветрелых и нарушенных разностей $500 \cdot 10^5$ — $700 \cdot 10^5$ Па при плотности 2,63—2,71 г/см^3 и объемной массе 2,56—2,64 г/см^3 (10 определений).

Образования **андезитовой и дацито-липаритовой формаций позднеюрского и мелового возраста**, комагматичные им интрузивные породы и синхронные эффузивам, пространственно тесно связанные с ними пресноводно-континентальные осадки молассовой формации выполняют разобщенные грабенообразные прогибы, расположенные в основном по окраинам региона. Наиболее крупными из них являются Хингано-Олонойский грабен на юге и Селемджинский прогиб на севере.

В строении рассматриваемой группы формаций основная роль принадлежит вулканическим породам. Нижние горизонты эффузивов принадлежат андезитовой формации и представлены андезитовыми порфиритами, андезитами, их туфами и лавобрекчиями, слагающими в основном трещинные покровы, достигающие значительных размеров на севере региона. Верхняя часть эффузивных образований, присутствующая лишь на юге региона, принадлежит дацито-липаритовой формации. В ее состав входят часто перемежающиеся фельзиты, фельзит-порфиры, кварцевые порфиры, липариты, их туфы и лавобрекчии, заключающие линзы витролипаритов и кислого вулканического стекла. Содержание пирокластических пород колеблется от 20 до 50—70%. На отдельных участках кроме указанных разностей присутствуют дацитовые порфириты, переслаивающиеся с туфами среднего и основного состава.

В тесной связи с эффузивами находятся субвулканические образования, пользующиеся небольшим площадным распространением. Они представлены разностями кислого состава (кварцевые порфиры, гранит-порфиры, плагиопорфиры, фельзит-порфиры) и среднего состава (кварцевые, плагиоклазовые, роговообманковые и диабазовые порфириты) и слагают небольшие штоки (до 10—15 км^2), межпластовые залежи (мощностью от нескольких метров до первых сотен метров) и многочисленные дайки (мощностью до 10—15 м), отчетливо приуроченные к разрывным нарушениям, частично представляющие корни покровов.

Терригенные породы залегают в основании и в верхних горизонтах разреза, в краевых частях прогибов, замещая по простиранию вулканогенные образования, а также присутствуют среди последних в виде маломощных линз. По составу это преимущественно конгломераты и песчаники, характеризующиеся исключительно пестрым составом обломков, их низкой сортированностью и окатанностью, резко выраженным туфогенным характером большинства слоев (содержат до 30% пирокластического материала). Среди грубых осадков, в основном в верхней части разреза, отмечаются отдельные пачки, сложенные мелко- и тонкозернистыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами с маломощными прослойками углистых аргиллитов и каменного угля. Мощность терригенных отложений непостоянна и колеблется от 25 до 1000 м.

Породы смяты в крупные пологие (углы падения крыльев 20—25°) брахиформные, иногда куполовидные складки, с глубиной приобретающие линейность и более крутое падение слоев. Со складчатыми дислокациями сопряжена интенсивная тектоническая трещиноватость. Для образований, залегающих в основании разреза, характерны преимущественно крутые и вертикальные трещины отрыва и скола северо-восточного и субширотного простирания. В пределах верхней части комплекса преобладают наклонные взбросы. Крупные разрывные нарушения проявляются на современном эрозионном срезе в виде дайковых полей, зон дробленных и сцементированных кварцем пород мощностью до 100 м, серий сближенных пустых трещин (Федчин, 1964). Трещиноватость пород распространяется на глубину до 80—100 м, достигая наибольшей интенсивности до 30—60 м (данные 2-го ГГУ). Трещины преимущественно вертикальные, открытые, шириной до 1—2 см вблизи поверхности, иногда они выполнены карбонатами, кварцем, гидроокислами железа либо мелкообломочным материалом. Расстояние между трещинами колеблется от 0,2 до 1 м.

Инженерно-геологические свойства пород разнообразны. Порфириты, андезиты, кварцевые порфиры и фельзит-порфиры — плотные крепкие массивные породы с плитчатой отдельностью. Временное сопротивление сжатию их свыше $1000 \cdot 10^5$ Па (единичные определения ДВТГУ). Липариты, обладающие повышенной пористостью (до 18%), характеризуются значительно меньшей механической прочностью ($230 \cdot 10^5 — 520 \cdot 10^5$ Па). Туфо- и лавобрекчии также плотные крепкие породы, содержат до 30—50% обломков эффузивных пород, кварца, плагиоклаза и других минералов. В мелкообломочных разностях размер обломков не превышает нескольких сантиметров, в крупнообломочных — достигает 1,5—2 м в поперечнике. Туфы — крепкие, слоистые, реже массивные породы различной размерности (от псефитовых до пелитовых).

Субвулканические породы характеризуются порфировой структурой, массивной текстурой, а вблизи контактов — с флюидальной текстурой. Это достаточно крепкие породы, механическая прочность которых зависит от степени их трещиноватости. В слаботрещиноватых разностях временное сопротивление сжатию сухого образца колеблется от $960 \cdot 10^5$ до $1400 \cdot 10^5$ Па, в трещиноватых — не превышает $600 \cdot 10^5$ Па.

Осадочные породы преимущественно массивные, крепкие, в верхних горизонтах слабо диагенезированные. Песчаники от крупно- до мелкозернистых, иногда с включением гальки. Их плотность 2,61—2,63 г/см^3; объемная масса 2,28—2,38 г/см^3; пористость 9,5—12,6%; водопоглощение 1,99—2,09%; временное сопротивление сжатию в су-

хом состоянии $143 \cdot 10^5 - 733 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $93 \cdot 10^5 - 666 \cdot 10^5$ Па (единичные определения). Конгломераты преимущественно крупногалечные с песчаным, глинистым или кремнистым цементом.

Породы базальтовой формации раннего плейстоцена слагают довольно крупные плато вдоль западной границы Хингано-Олонойского грабена, а также ряд мелких покровов вблизи восточной окраины массива. Они представлены переслаивающимися плотными и пористыми базальтами, нередко разделенными невыдержанными по простиранию и мощности глинистыми горизонтами. Изредка встречаются долериты. Пористые разности базальтов слагают, как правило, верхние горизонты, плотные — нижние. Общая мощность формации колеблется от первых десятков метров в небольших покровах и краевых частях плато до 200 м в центральной части плато. Базальты — крепкие и очень крепкие массивные породы, трещиноватые на всю мощность, наиболее интенсивно-трещиноватые до 40—70 м (данные 2-го ГГУ). Трещины обычно открытые, шириной до 2 см, разбивают породу на плитчатую, реже столбчатую отдельности. Наиболее прочными являются плотные базальты, выдерживающие в отдельных образцах вертикальные нагрузки от $690 \cdot 10^5$ до $1770 \cdot 10^5$ Па. Для пористых разностей (4—15%) характерны более низкие значения прочности ($400 \cdot 10^5 - 670 \cdot 10^5$ Па).

Аллювиальные отложения позднего плейстоцена и голоцена слагают I надпойменную террасу, низкую и высокую поймы и русло рек. Низкая пойма представлена в основном небольшими косами и островами. Высокая пойма высотой 1,5—3 м (в долине р. Буреи 6 м) и I надпойменная терраса высотой 2,5—6 м (в долине р. Буреи 10 м) ограниченно распространены и прослеживаются в виде отдельных разобщенных участков в долинах наиболее крупных рек. Аллювий характеризуется весьма грубым составом материала, невыдержанностью строения (небольшой протяженностью фаций, их быстрой взаимозамещаемостью) и небольшой мощностью (3—10 м). Русловые фации, резко преобладающие над остальными, представлены галечниками с песчаным заполнителем до 15—30%, в верховьях рек они крайне несортированы, грубоокатаны с примесью валунов, реже глыб и щебня. Пойменные фации незначительной мощности (до 0,1—1,5 м) представлены песками с линзами гравия и гальки, местами с маломощными прослоями супесей и суглинков.

Галечники, от мелких до крупных, содержат до 15—30% гравия, отдельные валуны и глыбы (10—30 см). Характеризуются преимущественно плотным сложением, с поверхности рыхлые. Коэффициент фильтрации их достигает 200 м/сут. Пески преимущественно средней крупности, полимиктовые с примесью гравия и гальки до 25%, рыхлые, коэффициенты фильтрации не превышают 2—3 м/сут.

Склоновые образования позднего плейстоцена-голоцена почти сплошным чехлом мощностью до 3 м покрывают склоны гор. В верхнем поясе средневысотных гор это преимущественно гравитационные образования: глыбы, реже щебень с супесчаным или суглинистым заполнителем, образующие незакрепленные, полузакрепленные и закрепленные осыпи площадью от 0,1 до 5 км^2. На большей части региона это нерасчлененные образования, представленные глыбами, щебнем и дресвой с супесчаным, песчаным и суглинистым заполнителем до 20—40%.

В предгорьях и на пологих склонах в межгорных понижениях преимущественно распространены элювиально-делювиальные и делювиальные отложения: суглинки, супеси, глины с включением 5—35% щебня и дресвы. На севере региона на ограниченных по площади уча-

стках развиты солифлюкционные образования: глины, суглинки, реже пески с глыбами, щебнем и дресвой. Нормативное давление $2 \cdot 10^5$ — $4 \cdot 10^5$ Па.

Гидрогеологические условия

Регион характеризуется преимущественно трещинными водами, залегающими на глубине от 3—5 м в долинах и на пологих склонах до 70—100 м на крутых склонах и водоразделах. Воды преимущественно безнапорные, в зонах тектонических нарушений иногда напорные. Водоносность пород обычно низкая. Дебиты скважин, как правило, не превышают 0,5 л/с (иногда до 1,5 л/с) при понижениях уровня от 2 до 75 м и лишь в зонах разрывных нарушений достигают 1,2—14 л/с при понижениях уровня на 28—35 м. Удельные дебиты уменьшаются с глубиной от 0,01 до 0,001 л/с.

На юге региона выделяются Кимканский и Южно-Хинганский бассейны трещинно-карстовых вод, приуроченные к трещинным и карстовым пустотам в метаморфизованных терригенно-карбонатных породах верхнего протерозоя и нижнего кембрия. Глубина залегания вод колеблется от долей метра до 20—30 м. Водообильность пород крайне неравномерная. Дебит родников изменяется от 0,3 до 100 л/с. Дебиты отдельных скважин при понижениях 0,3—5 м достигают 12—21 л/с.

В речных долинах широко распространен водоносный горизонт четвертичных аллювиальных отложений мощностью до 10 м. Воды грунтовые, залегают на глубине 0,5—1,5 м. Дебиты скважин 3—17 л/с при понижениях уровня на 2—5 м.

К элювиально-делювиальным отложениям четвертичного возраста приурочена верховодка (воды приповерхностного стока). Она появляется лишь в летний период в супесях со щебнем на глубине 0,3—5 м и питает родники, дебит которых 0,1—1 л/с. При вскрытии шурфами верховодка дает притоки 0,1—0,4 л/с.

В северной части региона, где широко развита многолетняя мерзлота, развиты надмерзлотные и подмерзлотные воды.

Все воды региона пресные с преобладающей минерализацией до 0,2 г/л, по составу гидрокарбонатные кальциевые или смешанные по катионам. Несколько повышенная минерализация (до 0,4 г/л) отмечается на локальных участках в зонах тектонических нарушений, обогащенных сульфидами. Воды здесь гидрокарбонатно-сульфатного кальциево-магниевого состава. В зоне активного водообмена воды обладают выщелачивающей и углекислотной агрессивностью, в зоне замедленного водообмена, как правило, неагрессивны. В районе пос. Кульдур с зоной глубинного разлома связаны минеральные азотно-термальные воды с температурой, достигающей 74°. По составу это слабоминерализованные (до 0,36 г/л) гидрокарбонатные натриевые, щелочные ($pH > 9$) воды, содержащие до 136 мг/л кремневой кислоты и до 18 мг/л фтора; выделяется свободный азот.

Современные геологические процессы и явления

Активно развивающиеся современные геологические процессы на территории региона во многом определены его климатическими особенностями. Резкие суточные и сезонные колебания температур способст-

вуют развитию в гольцовом поясе гор и на крутых склонах процессов морозного выветривания, обусловливающих образование скальных останцов высотой до 30 м, многочисленных глыбовых развалов и осыпей, занимающих значительные площади (до 10 км^2).

Большое количество осадков, выпадающих в теплое время года (до 500—600 мм), вызывает высокие летне-осенние паводки. Иногда после интенсивных дождей (до 10 мм/сут) возникают катастрофические наводнения, обладающие огромной разрушительной силой, направленной в основном на подмыв и обрушение берегов, сложенных рыхлыми грунтами (разрушение происходит со средней скоростью 0,2—0,3 м в год), формирование береговых уступов и обрывов. Значительное количество летних осадков благодаря тяжелому механическому составу почв в днищах долин и на пологих склонах приводит также к развитию процессов заболачивания на этих участках.

Наличие многолетнемерзлых пород и глубокое сезонное промерзание грунтов обусловливают формирование у подножий склонов, сложенных талыми породами, грунтовых наледей высотой до 2 м, площадью до 10 м^2. В днищах долин и на заболоченных участках террас образуются бугры пучения высотой до 0,2—1 м и диаметром 2—5 м, реже до 10 м.

На юге региона активно проявляются плоскостной смыв и линейная эрозия, развитию которых способствуют значительная крутизна склонов, ливневый характер дождей и отсутствие, в отличие от остальной территории, лесного покрова. Эти процессы, согласно А. В. Мизерову (1966), приводят либо к полному уничтожению рыхлого покрова склона (в случае его незначительной мощности), либо к образованию промоин, эрозионных борозд, рытвин и росту оврагов. Средняя глубина овражного размыва за год составляет почти 40 см.

В поле распространения карбонатных пород верхнего протерозоя и нижнего кембрия развиты карстовые процессы. Формы проявления карста охарактеризованы при описании формации.

ТУКУРИНГРА-БАДЖАЛЬСКИЙ РЕГИОН

Регион охватывает обширную территорию, включающую горную систему хребтов Тукурингра—Джагды, восточную часть Буреинской горной страны (хребты Баджальский, Буреинский, Дуссе-Алинь, Ям-Алинь), Тайканский, Тыльский, Альский, Бюко хребты и Шантарские острова.

Для большей части региона характерен эрозионный и экзарационный высокогорный и среднегорный рельеф альпинотипного облика (абс. отм. 800—2100, максимальная — 2640 м) с гольцовыми остроконечными, скалистыми, гребневидными, реже массивными куполовидными вершинами, крутыми склонами до 30—60°, на значительной площади покрытыми незакрепленными и полузакрепленными крупноглыбовыми и глыбово-щебнистыми осыпями. В приводораздельных частях гор широко распространены ледниковые кары и цирки (до 1—2 км в поперечнике) с обрывистыми, почти вертикальными скалистыми стенами высотой 200—400 м и вогнутыми днищами, занятыми озерами. Горы расчленены узкими V-образными, в верховьях нередко троговыми или каньонообразными долинами с крутыми, в нижней части иногда обрывистыми склонами и крутыми тальвегами, с частыми порогами и водопадами. Лишь на крайнем северо-востоке региона и на Шантарских островах преобладают низкие относительно слабо расчлененные горы

(абс. отм. 300—500 м) с холмисто-увалистыми предгорьями и широкими речными долинами. Морские берега на значительном протяжении скалистые, обрывистые, высотой 100—200 м, реже 400 м (Шантарские острова).

Климат региона континентальный, в северо-восточной части с чертами муссонного. Он характеризуется продолжительной и сравнительно холодной зимой (суточные температуры воздуха ниже —25°, могут достигать —45°), коротким, влажным и теплым летом в южной части, а на севере — относительно прохладным. Среднегодовая температура воздуха колеблется от нуля на юге до —7,4° на севере. Среднегодовое количество осадков изменяется от 450 мм на северо-западе региона до 600—750 мм на восточных склонах высокогорных хребтов (Баджальского, Буреинского и др.). Максимум осадков (до 70% годового количества) приходится на лето и первый осенний месяц. Высота снежного покрова, как правило, не превышает 30 см, лишь в приморских районах возрастает до 65 см, что способствует глубокому сезонному промерзанию грунтов (до 2,9 м). Территория расположена в зоне островной многолетней мерзлоты мощностью 25—50 м.

Растительность региона характеризуется преобладанием на северо-западе лиственничных, а в центральной и южной частях — темнохвойных елово-пихтовых лесов. В подгольцовом поясе развиты заросли кедрового стланика. К верхнему поясу гор приурочены пятнистая тундра и участки каменных россыпей с несплошным лишайниковым покровом.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Регион включает палеозойские и в меньшей степени мезозойские складчатые структуры Монголо-Охотской и Сихотэ-Алинской складчатых систем, обрамляющие Буреинский кристаллический массив.

Особенностью региона является широкое развитие сильно метаморфизованных пород, возраст которых далеко не всюду доказан. С этим часто связана различная трактовка тектонического положения отдельных его частей. Морфологическая структура региона обусловлена широким развитием глубинных разломов. Почти на протяжении всей истории своего развития эти структуры отделялись серией глубинных разломов от Становой складчато-глыбовой зоны и от Буреинского массива. Прилегающие к разломам участки в связи с неоднократным динамометаморфизмом отличаются сильнейшим рассланцеванием пород, блоковым строением, раздробленностью.

Структуры региона сформировались в течение ряда циклов. Наиболее древний из них — поздиепротерозойский — раннепалеозойский [1] характеризовался развитием эвгеосинклинальных прогибов, в которых формировались осадки спилито-диабазовой кремнисто-песчано-глинистой и диабазо-песчано-глинистой флишоидной формаций. Цикл завершился байкальской складчатостью и внедрением пород габбро-диоритовой формации. Палеозойский этап (силур — ранняя пермь) ознаменовался дроблением байкальских складчатых сооружений и восстановлением геосинклинальных условий. В связи с различной подвижностью отдельных блоков в регионе возникли эв- и миогеосинклинальные прогибы, заполнившиеся диабазовой кремнисто-песчано-глинистой и песчано-глинистой флишоидной формациями. Начавшиеся

[1] Образования более раннего этапа не рассматриваются.

в поздней перми орогенные движения фиксируются накоплением в отдельных впадинах морской песчано-глинистой молассы. После герцинских складчатых движений, проявившихся в поздней перми — среднем триасе, регион вступил в мезозойский цикл развития. Геосинклинальные прогибания этого цикла продолжались с позднего триаса до раннего мела и компенсировались осадками песчано-глинистой сероцветной формации. Орогенные движения начались в раннем мелу, но молассовые формации, связанные с этим этапом, на большей части территории неизвестны.

В позднем мелу интенсивно проявился магматизм в виде гранитоидной, андезитовой и дацито-липаритовой формаций. К посторогенным структурам относятся небольшие грабены, выполненные континентальной кайнозойской молассой.

Спилито-диабазовая кремнисто-песчано-глинистая формация позднепротерозойского — раннепалеозойского возраста распространена в основном в пределах хр. Джагды (рис. 44) и представлена мощной серией регионально метаморфизованных вулканогенно-терригенных пород (до 10 км), дополнительно подвергшихся в зонах глубинных разломов дислокационному метаморфизму. Терригенные породы превращены обычно в филлиты, кварцево-серицитовые сланцы и кварциты, вулканогенные — в зеленые сланцы и в рассланцованные и метаморфизованные диабазовые порфириты, местами сохранившие реликтовые структуры.

Для формации в целом характерны фациальные изменения как в разрезе, так и по простиранию, в связи с чем основная роль в ее составе принадлежит то вулканогенным, то кремнистым породам.

В западной части региона (в бассейнах рек Тында, Деп и Эгор) в разрезе формации резко преобладают зеленые сланцы (до 70—80%). Через 30—550 м они чередуются с рассланцованными кремнистыми породами и мраморизованными известняками.

Верхи формации, относящиеся по возрасту к раннему кембрию (бассейн рек Шевли, Галам, Гербикан), характеризуются несколько меньшим метаморфизмом и более широким распространением кремнистых пород. Это неравномерное чередование (через 10—90 м) вишнево-красных яшм, зеленых рассланцованных диабазов и диабазовых порфиритов, кварцитовидных песчаников, глинисто-серицитовых и серицито-хлоритовых сланцев и редко мраморизованных известняков. К горизонтам яшмовидных пород часто приурочены железные руды.

Породы смяты в узкие линейные складки, местами сильно пережатые, опрокинутые, изоклинальные, нередко осложненные микроскладчатостью (особенно в пачках кремнистых образований). Близ многочисленных разломов породы рассланцованы, катаклазированы, повышенно трещиноваты, разорваны с образованием сбросов и надвигов, вдоль наиболее крупных из них породы глубоко метаморфизованы. Переходы к менее метаморфизованным разностям постепенные.

В массиве породы незакономерно трещиноваты до глубины 100 м. Трещины либо тонкие, быстро затухающие с глубиной, либо зияющие шириной 0,5—5 см. Около 40% всех трещин имеют близширотное простирание (параллельное наиболее крупным разломам) и крутое падение (50—85°). В зонах разломов (по данным скважин, пробуренных в створе Зейской ГЭС) интенсивная трещиноватость может опускаться до 400 м.

Физико-механические свойства пород не изучены. Можно лишь отметить, что в связи с многочисленным воздействием на древние тол-

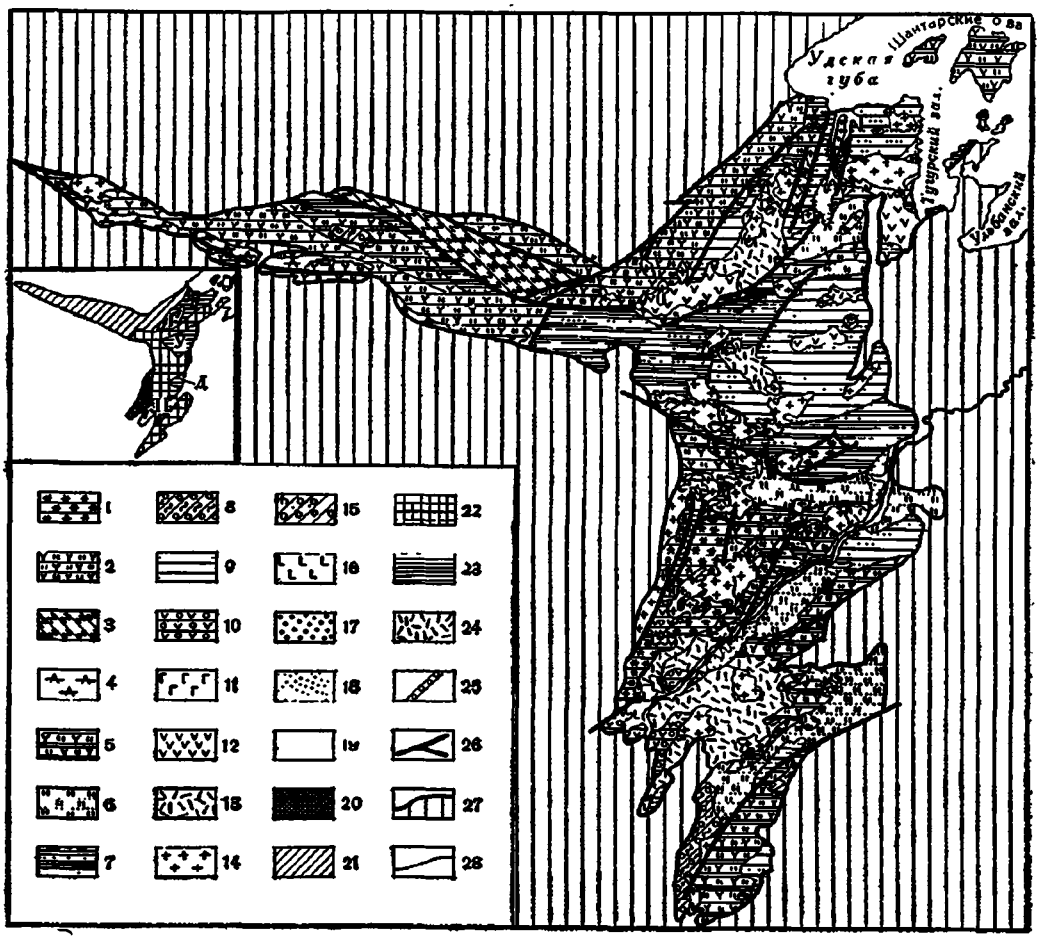


Рис. 44. Формационная карта Тукурингра-Баджальского региона.
Формации: 1 — метаморфическая (PR_1, PR_2); 2 — спилито-диабазовая кремнисто-песчано-глинистая (PR_3—$Є_1$?); 3 — диабазо-песчано-глинистая флишоидная (PR_3—$Є_1$?); 4 — габбро-диоритовая (PZ_1); 5 — диабазовая кремнисто-песчано-глинистая (PZ_2—PZ_3); 6 — кремнисто-песчано-глинистая (PZ_2—PZ_3); 7 — флишоидная (PZ_3?); 8—терригенная молассовая (PZ_3); 9—песчано-глинистая сероцветная (T_3—K_1); 10 — вулканогенно-терригенная молассовая (K_1); 11 — дунит-пироксенит-габбровая (K_2); 12 — андезитовая (K_2); 13 — дацито-липаритовая (K_2); 14 — гранитоидная (K_2); 15 — терригенная молассовая (P_3—N_1); 16 — базальтовая (Q_I). Геолого-генетический комплекс аллювиальных отложений: 17 — среднеплейстоценовых (Q_{II}); 18 — верхнеплейстоценовых (Q_{III}); 19 — голоценовых (Q_{IV}).
На врезке. Схема структурных элементов региона:
20 — выступ ранних протерозоид; области складчатости: 21 — раннепалеозойской, местами позднепалеозойской; 22 — позднепалеозойской, местами раннемезозойской; 23 — мезозойской (Торомский (Т), Ульбанский (У), Дукинский (Д) прогибы); 24 — вулканические зоны (I — Селиткайская, II — Баджальская); 25 — Торомский грабен; 26 — разломы; 27 — граница региона и сопредельные территории; 28 — границы формаций и геолого-генетических комплексов

щи гидротермальных процессов (перекристаллизации, окварцевания и других) они приобрели местами значительную прочность; сильнотрещиноватые разности являются ослабленными.

Диабазо-песчано-глинистая флишоидная формация условно позднепротерозойско-раннепалеозойского возраста распространена в северных отрогах хр. Джагды и представлена филлитизированными глинистыми и зелеными сланцами, кварцитовидными песчаниками и микрокварцитами с редкими

линзами известняков. В низах формации зеленые сланцы либо слагают мощные линзообразные тела (до 200 м), представляя собой в этом случае метаморфизованные диабазы или спилиты, либо участвуют в тонком ритмичном переслаивании с филлитизированными сланцами (через 2—3 см), первично представляя туфогенный элемент ритма. Вверх по разрезу в ритмичном переслаивании участвуют филлитизированные глинистые сланцы и расслаицованные серицитизированные песчаники. Местами они содержат внутриформационные конгломераты, а в самых верхах обогащаются зелеными сланцами с мощностями слоев от 2 до 70 м.

В составе формации в целом в направлении с востока на запад увеличивается роль зеленых сланцев, микрокварцитов и карбонатных пород. Общая мощность отложений не менее 5000 м.

С инженерной точки зрения формация не изучена. Следует отметить, что пачки тонкого флишоидного переслаивания повышенно трещиноваты благодаря появлению в них многочисленных трещин параллельно напластованию пород.

Образования габбро-диоритовой формации раннего палеозоя слагают несколько крупных трещинных интрузий (протяженность более 200 км при ширине 4—10 км), вытянутых вдоль южных склонов хребтов Соктахан и Джагды и приуроченных к Южно-Тукурингрскому глубинному разлому. По составу это диориты и кварцевые диориты, габбро-диориты, габбро и очень редко серпентиниты. Преобладающая часть пород обладает полосчатой текстурой, обусловленной, с одной стороны, формированием интрузий в зоне разлома, а с другой — интенсивными катаклазом и милонитизацией, наложенными в последующее время. В зонах рассланцевания (до 1,5—2 км) диориты и габбро нередко превращены в альбит-хлорит-актинолитовые, кварц-хлорит-актинолит-альбитовые и другие сланцы. Как показали исследования, проводившиеся сотрудниками Ленгидропроекта в районе Зейского гидроузла, характерной особенностью диоритов является раздробленность, связанная с древними тектоническими нарушениями. Большая их часть относится к различной степени катаклазированным диоритам, катаклазитам, милонитам и ультрамилонитам, которые под воздействием последующего окварцевания и перекристаллизации на отдельных участках восстановили свои прочностные свойства, а местами приобрели прочность, превышающую первичную.

Диориты в массиве характеризуются значительной и неравномерной степенью трещиноватости (модуль трещиноватости превышает величины 5—10 в 50% замеров). Широко развиты тонкие (до 2 мм) закрытые, реже полые крутопадающие и пологие трещины, разбивающие диориты на глыбы размером 10—20 см. Трещины шириной до 5 см развиты в среднем по 1—2 на каждые 20 м. Как и зоны дроблений шириной 0,2—5 м, они выполнены раздробленной и неоднородно разрушенной породой.

Физико-механические свойства диоритов приведены в табл. 42 (данные по 330 анализам). По данным Горянского А. А. (1968), прочностные свойства диоритов в массиве значительно отличаются от показателей, полученных при испытании образцов, и изменяются на коротких расстояниях.

Наиболее широким распространением в регионе пользуются породы диабазовой кремнисто-песчано-глинистой и кремнисто-песчано-глинистой формаций среднего и позднего палеозоя. Они слагают хребты Тыльский, Альский, Бюко, Дуссе-Алинь, Баджальский и Шантарские острова, различаются

Таблица 42

Физико-механические свойства диоритов района Зейского гидроузла
(по данным Ленгидропроекта)

Разности диоритов	Плотность, г/см³	Объемная масса, г/см³	Пористость, %	Водопоглощение, %	Временное сопротивление сжатию, 10^5 Па			Модуль деформации, 10^4 Па
					сухого образца	водонасыщенного образца	после 10-кратного испытания в сернокислом натрии	
Крепкие трещиноватые	2,71—2,92	2,66—2,92	0—4	0—1,5	730—2620	520—2210	620—2330	91—610
Крепкие, сильнотрещиноватые, местами измененные	2,72—2,86	2,32—2,74	3—16	0,5—4	600	520	500	25—30
Измененные, местами разрушенные до щебнисто-глинистого грунта	2,7—2,84	1,54—2,49	11—43	4—20	—	—.	—	5—22

между собой количеством кремнистого и вулканогенного материала, а от более древних аналогичных формаций отличаются меньшей степенью метаморфизма пород.

Диабазовая кремнисто-песчано-глинистая формация на различных участках сложена по-разному. На Шантарских островах в разрезе отмечается четкая повторяемость толщ вулканогенно-кремнистого и терригенного состава, свидетельствующая о цикличности накопления осадков. Толщи вулканогенно-кремнистых пород представлены хлоритизированными и карбонатизированными диабазами и диабазовыми порфиритами (до 60% общего объема), разноцветными кремнистыми породами, туфами и туфобрекчиями основного состава, реже окремнелыми песчаниками, алевролитами, гравелитами, конгломератами, известняками.

Терригенные толщи характеризуются ритмичным чередованием серицитизированных, нередко известковистых песчаников и окремнелых алевролитов. В них отмечаются линзы известняков, быстро замещающиеся по простиранию терригенными породами, горизонты кремнистых пород, конгломератов, зеленых сланцев (мощностью до 100 м). В целом вверх по разрезу увеличивается количество грубообломочных и карбонатных образований, мощности которых достигают 300 м. Общая мощность толщи 1700—3500 м.

В материковой части региона формация отличается значительной терригенностью. В ряде мест на Тугурском побережье терригенные породы содержат горизонты вулканогенно-кремнистого состава мощностью до 100 м. На юге региона для формации характерны линзы известняков мощностью до 200 м.

Для формации в целом характерно уменьшение количества известняков в направлении с севера на юг и вверх по разрезу. Мощности ее меняются от 10 000—15 000 м на севере до 4 000—5 000 м на юге.

В отличие от аналогичной формации позднепротерозойско-раннепалеозойского возраста, здесь отмечаются меньшее содержание вулканогенно-кремнистого материала, меньшая степень метаморфизма и меньшая дислоцированность пород. Толщи смяты в простые и сложные линейные складки с углами падения крыльев от 40 до 90°. В пач-

ках тонкого переслаивания, зажатых между массивными вулканогенно-кремнистыми образованиями, часты микроскладчатость и будинаж. Вдоль разломов, в полосе до 500 м, породы рассланцованы и окварцованы.

С поверхности породы разбиты сетью разноориентированных трещин, затухающих на глубине 40—60 м. Отмечается повышенная трещиноватость пачек тонкого переслаивания песчаников и алевролитов. В береговой полосе Шантарских островов крутые трещины отдельности способствуют образованию скальных обрывов высотой до 400 м.

Физико-механические свойства пород приводятся в табл. 43. Износ в барабане Деваля палеозойских пород, развитых в бассейне р. Теватын, составляет: трещиноватых конгломератов 3,5%, алевролитов 4,54, окварцованных песчаников 2%.

Кремнисто-песчано-глинистая формация отличается преобладанием глинисто- и кремнисто-серицитовых сланцев (до 50%). На фоне неравномерного переслаивания этих пород через 10—200 м отмечаются прослои и линзы серицитизированных песчаников, яшм, спилитов и диабазов (последние местами метаморфизованы до стадии актинолит-хлоритовых сланцев), мраморизованных известняков мощностью до 80 м. В низах формации и в самых верхах присутствуют линзообразные тела расслаицованных спилитов и диабазов мощностью до 200 м, а в бассейне р. Лев. Буреи верхи се на 80% сложены пестроокрашенными яшмами и кремнисто-серицитовыми сланцами. Мощность формации уменьшается с севера на юг от 4000 до 2000 м.

Массивы пород неравномерно трещиноваты. Количество трещин колеблется от 3—4 до 30 па 1 м.

По единичным данным, у кремнистых сланцев в верхней части формации объемная масса 2,61—2,64 г/см^3, влагоемкость 0,56—0,73%, временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $1795 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $1040 \cdot 10^5$ Па и после 25-кратного замораживания — $820 \cdot 10^5$ Па. Песчаники объемной массой 2,63 г/см^3, влагоемкостью 0,05%, с временным сопротивлением сжатию в сухом состоянии $1720 \cdot 10^5$ Па; износ в барабане Деваля 2,7%.

Флишоидная формация условно палеозойского возраста распространена в бассейнах рек Селемджи, Кумусун и Керби, характеризуется преобладанием алевро-пелитовых пород. На фоне неравномерного чередования филлитизированных глинистых сланцев и алевролитов (слои мощностью 8—90 м) с тонкозернистыми песчаниками (мощностью 10—40 м) отмечается их флишоидное переслаивание. Мощности элементов ритма при этом колеблются от долей сантиметра до нескольких метров.

Состав отложений в целом выдержан по простиранию. Намечается некоторое увеличение количества песчаников с востока на запад и замещение их внутриформационными брекчиями или конгломератами. В верхах формации появляются горизонты кремнисто-глинистых пород мощностью до 10 м.

Все породы флишоидной формации смяты в линейные складки преимущественно северо-западного простирания с углами падения до 90°, нередко микроплойчаты. Породы отличаются серицитизированностью, плитчатой отдельностью и трещиноваты до глубины 50—70 м.

Филлитизированные алевролиты, преобладающие в составе формации, а также трещиноватые песчаники характеризуются по сопротивлению износу низкими показателями. Степень изпашиваемости их в барабане Деваля составляет 11,45—14,4%.

Таблица 43

Физико-механические свойства пород диабазовой кремнисто-песчано-глинистой формации
(по данным 2-го ГГУ)

Породы	Плотность, г/см³	Объемная масса, г/см³	Пористость, %	Водопоглощение, %	Временное сопротивление грунта сжатию, 10^5 Па		
					сухого	водонасыщенного	после замораживания
Шаптарские острова							
Песчаник	2,83	2,77—2,82(10)	1,41	0,18—0,29(10)	2017—3877(5)	2196—3586(5)	2146—2876(5)
Песчаник окварцованный	2,69	2,64—2,71(15)	1,11	0,15—0,36(10)	2840—4580(5)	2150—3330(5)	2110—3500(5)
Конгломерат массивный	2,7	2,61—2,65(14)	2,96	0,4 —0,67(10)	2400—2870(4)	1224— 1907(5)	1490—1880(5)
Алевролит с прожилками кварца	2,72	2,64—2,69(8)	1,87	0,22—0,41(5)	1518—2167(3)	1016—2100(3)	1191—1660(2)
Яшма	2,81	2,66—2,82(14)	0,68	0,05—0,23(10)	2604—3798(4)	2070—3950(5)	2129—3823(5)
Диабазовый порфирит трещиноватый	2,92	2,88—2,93(15)	0,68	0,12—0,35(10)	1175—2075(5)	773—1535(5)	536—1565(5)
Диабаз рассланцованный	2,88	2,84—2,93(15)	0,35	0,3 —0,42(10)	1545—2165(5)	834—1058(5)	494—995(5)
Эффузив окремнелый трещиноватый	2,81	2,74—3,02	0,35	0,05—0,23(5)	1288—2015(2)	1159—1168(2)	909—1165(3)
Эффузив карбонатизированный	2,76	2,71—2,77(6)	1,09	0,17—0,26(6)			
Бассейн р. Теватын							
Конгломерат трещиноватый	2,72	2,61—2,63(5)	3,67	0,51—0,89(5)			
Песчаник рассланцованный	2,73	2,65—2,68(5)	2,56	0,21—0,33(5)			
Песчаник трещиноватый	2,69	2,61—2,63(5)	2,67	0,99—1,39(5)			

Физические свойства пород, по единичным определениям в Кербинском районе, приведены в табл. 44.

Таблица 44

Физические свойства пород флишоидной формации

Породы	Плотность, г/см³	Объемная масса, г/см³	Пористость, %	Водопоглощение, %
Алевролит рассланцованный филлитизированный	2,74	2,59—2,62(13)	4,75	0,6—1,4(9)
Алевролит трещиноватый . . .	2,73	2,56—2,63(5)	5,13	1,43—2,37(5)
Песчаник трещиноватый	2,73	2,58—2,66(5)	4,03	0,8—1,87(5)

Примечание. В скобках дано количество определений.

По единичным определениям, временное сопротивление сжатию в сухом состоянии составляет $963 \cdot 10^5$—$1775 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном состоянии — $800 \cdot 10^5$—$1024 \cdot 10^5$ и после замораживания — $622 \cdot 10^5$—$1145 \cdot 10^5$ Па.

Терригенная молассовая формация позднего палеозоя распространена ограниченно и представлена толщей грубозернистых терригенных пород мощностью до 2 000 м. Нижняя половина ее разреза сложена в низовьях р. Урми валунными и среднегалечными конгломератами, переслаивающимися с туффитами, реже с пачками тонкого чередования песчаников, глинистых сланцев, туффитов и мелкогалечных конгломератов. В верхах разреза ритмично переслаивающиеся алевролиты, аргиллиты, аркозовые песчаники и известняки, венчаются толщей преимущественно псаммитовых пород с горизонтами мелкогалечных конгломератов. В Зейско-Сселемджинском районе формация представлена конгломератами, песчаниками и алевролитами.

Породы формации смяты в замкнутые, мульдоподобные синклинали с умеренно крутыми крыльями (40—70°), разбитыми многочисленными разломами. Трещиноватость развита до глубины 40—60 м, трещины прямые и извилистые шириной до 3 мм.

Физико-механические свойства пород формации не изучены.

Отложения песчано-глинистой сероцветной формации позднетриасового—раннемелового возраста распространены в восточной части региона в пределах Торомского, Ульбанского и Дукинского прогибов и представлены неравномерно переслаивающимися разнозернистыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами, конгломератами и гравелитами. Мощность слоев до 80 м. Общая мощность отложений до 5500 м. Нижняя часть формации в Торомском прогибе отличается существенной тонкозернистостью и известковистостью, мощность ее 1200—2300 м.

Верхняя часть (мощностью 2200—3300 м) характеризуется невыдержанностью состава по простиранию и преобладанием песчаников с горизонтами конгломератов и гравелитов мощностью 1,5—3 м. В самых верхах морские фации сменяются пресноводно-континентальными, для которых характерно обилие туфогенного материала. В пределах Торомского прогиба породы образуют асимметричную мульду с углами падения в бортовых частях до 45°, в центральной части до 12°. В Ульбанском и Дукинском прогибах углы падения пород составляют 25—50°.

Породы формации до глубины 40—60 м трещиноватые. Трещины преимущественно зияющие (0,1—0,4 м, редко до 2 м), иногда заполнены дресвяно-суглинистым материалом.

По единичным определениям, объемная масса песчаников 2,5—2,7 г/см^3, пористость 2,5—2,95% и водопоглощение (в зависимости от степени трещиноватости) от 0,4 до 2,6%. Алевролиты и аргиллиты характеризуются плотностью 2,66 г/см^3, объемной массой 2,7 г/см^3, пористостью 0,4% и водопоглощением 0,27—0,31%.

Прочность пород определяется степенью их выветрелости, окварцованности и перекристаллизации цемента. Близ контактов с интрузиями (в зоне до 4 км) породы монолитны. Присутствие в цементе глинистого материала уменьшает их прочностные свойства. Временное сопротивление сжатию слабовыветрелых песчаников $1000 \cdot 10^5 — 1400 \cdot 10^5$ Па, выветрелых и слоистых — не более $1000 \cdot 10^5$, окварцованных и ороговикованных — до $2370 \cdot 10^5$ Па. При водонасыщении и испытании на морозостойкость эти величины существенно не меняются, особенно у мелко- и тонкозернистых разностей. Временное сопротивление сжатию неметаморфизованных алевролитов и аргиллитов $400 \cdot 10^5 — 800 \cdot 10^5$ Па, окварцованных — до $1940 \cdot 10^5$ Па.

Вулканогенно-терригенная молассовая формация мелового возраста распространена в пределах хребтов Бюко и Баджальского. Она залегает с несогласием и размывом на подстилающих образованиях и представлена переслаиванием туфов и лавобрекчий среднего состава, отдельных лавовых покровов андезитовых порфиритов, прослоев и линз туфопесчаников, туфоконгломератов и туфоалевролитов. Мощности слоев и отдельных пачек колеблются от 3 до 40 м. Общая мощность отложений 400 м.

Породы трещиноваты до глубины 40—60 м, трещины преимущественно крутопадающие и зияющие (0,2—5 см), расстояние между ними 0,2 — 1 м.

Туфы, составляющие основную часть разреза формации, от тонко- до крупнообломочных объемной массой 2,4 г/см^3, пористостью до 7,7% и водопоглощением 2,9—3,8%. В пределах Баджальского хребта вблизи интрузий туфы порфиритов кристаллические с объемной массой 2,56—2,58 г/см^3 и водопоглощением 0,3—0,6%. Временное сопротивление сжатию их в сухом состоянии до $1700 \cdot 10^5$ Па.

С этими образованиями ассоциируют интрузивные породы дунит-пироксенит-габбровой формации, слагающие небольшие массивы (до 30 км^2) в бассейне р. Тыль и Альском хребте. Они представлены дунитами, пироксенитами, перидотитами и габбро, отличаются массивностью и очень высокой прочностью. Свойства пород не изучены из-за незначительного распространения.

Образования андезитовой и дацито-липаритовой формаций позднего мела слагают обширные покровы мощностью более 1000 м в бассейне верховий р. Амгунь, на юго-западе Баджальского хребта, в северных отрогах хр. Ям-Алинь и в пределах Тайканского хребта.

Породы андезитовой формации залегают, как правило, в низах разреза и представлены андезитами, в меньшей мере их туфами, туфолавами и лавобрекчиями. Дацито-липаритовая формация наиболее широко развита в хр. Баджальском и сложена кварцевыми порфирами, дацитами, липаритами, их туфами и лавобрекчиями. Характерна значительная изменчивость состава и мощности пород в разрезе и по простиранию.

Породы вулканогенных формаций через 0,2—1,5 м разбиты открытыми трещинами (0,2—4 см) на крупноглыбовые и толстоплитчатые отдельности. Согласно данным единичных анализов плотность андезитов 2,66—2,9 г/см^3; объемная масса 2,6—2,8 г/см^3; пористость 2,4%;

водопоглощение 0,11—0,42%; временное сопротивление сжатию сухого образца $1070 \cdot 10^5$—$2920 \cdot 10^5$ Па, водонасыщенного—$650 \cdot 10^5$—$2700 \cdot 10^5$ Па. Для кварцевых порфиров эти показатели близки и составляют соответственно 2,75 г/см³; 2,67—2,72 г/см³; 1,81%; 0,33—0,77%; $2400 \cdot 10^5$ — $2600 \cdot 10^5$ и $1800 \cdot 10^5$ — $2500 \cdot 10^5$ Па. Туфы отличаются несколько большей пористостью, достигающей 7—9%, и меньшей прочностью (временное сопротивление сжатию сухого образца $800 \cdot 10^5$—$1550 \cdot 10^5$ Па, водонасыщенного — $500 \cdot 10^5$ — $760 \cdot 10^5$ Па).

Породы гранитоидной формации позднего мела слагают различные по форме массивы размером до 350 км², реже достигают 800 км². Преимущественно развиты (до 90%) породы кислого состава, представленные средне- или неравномерно-кристаллическими, часто порфировыми гранодиоритами, гранитами, реже плагиогранитами, кварцевыми диоритами и гранит-порфирами, связанными между собой серией взаимопереходов. Породы среднего и основного состава (диориты, габбро-диориты, габбро), как правило, образуют небольшие самостоятельные тела либо локализируются в периферических частях сложнопостроенных интрузий. Породы формации массивные, с крупноглыбовой отдельностью, до глубины 60 м, реже до 80 м трещиноваты. Трещины преимущественно крутые с углами падения до 75°, субширотного и северо-западного направлений, зияющие (0,05—2 см), расстояние между трещинами 0,2—1 м. В зонах разрывных нарушений породы раздроблены.

По данным 2-го ГГУ, плотность гранитов 2,6—2,7 г/см³; объемная масса 2,47—2,7 г/см³; пористость 0,37—6,2%; водопоглощение 0,34—2,2%; прочность на сжатие сухого образца $665 \cdot 10^5$—$2350 \cdot 10^5$ Па, водонасыщенного — $520 \cdot 10^5$ — $1710 \cdot 10^5$ Па (по единичным определениям). Свойства кварцевых диоритов близки к предыдущим и соответствуют 2,66—2,83 г/см³; 2,56—2,75 г/см³; 2,6—2,8%; 0,44—0,77%; $1490 \cdot 10^5$ — $1926 \cdot 10^5$ и $1390 \cdot 10^5$ Па.

Породы терригенной молассовой формации неогена, возможно, и палеогена выполняют Торомский грабен и представлены слабо сцементированными аллювиально-пролювиальными галечниками, содержащими примесь валунного материала. Отложения характеризуются высокой плотностью, резко возрастающей вниз по разрезу, с поверхности сильновыветрелые, иногда галька и валуны разрушены до дресвы.

Аллювиальные отложения развиты в долинах большинства рек. Наиболее широким распространением пользуются голоценовые и позднеплейстоценовые осадки, слагающие пойму и надпойменную террасу. Более древние образования встречаются на ограниченных участках в долинах наиболее крупных рек Торома, Тыли и других, где они слагают комплекс высоких террас. Реки среднегорья и высокогорья с их бурным течением и значительными уклонами характеризуются малой мощностью аллювия (от 1 до 7 м) и преобладанием в его составе несортированного, слабоокатанного валунно-глыбового и щебнисто-глыбового материала. Только в среднем течении наиболее крупных рек он сменяется валунно-гравийно-галечниковыми отложениями слабой и средней окатанности с песчаным заполнителем (15—45%), иногда с супесчаным или суглинистым. Здесь же появляется и пойменный аллювий мощностью от 0,5 до 2,5 м, чаще 1—1,2 м, представленный песками от пылеватых до гравелистых, чаще средней крупности. Иногда с поверхности пески перекрыты тонким (0,2—0,6 м) слоем супесей и суглинков.

Грунты с глубины 0,3—3 м, как правило, мерзлые. Различная степень льдистости осадков сказывается на их физических свойствах

(табл. 45) и приводит к большому диапазону значений пористости, объемной массы. Естественная влажность суглинков и супесей обычно

Таблица 45

Физические свойства пойменных отложений

Породы	Объемная масса, г/см³	Пористость, %	Коэффициент пористости	Естественная влажность, %	Пластичность		
					предел текучести, %	предел раскатывания, %	число пластичности
Пески	1,96—1,98	34—74	0,82—2,85	4—30	—	—	—
Супеси	1,22—1,62	50—69	1,48—2,2	28—49	25—46	21—42	4
Суглинки . . .	1,56—2,56	50—59	1—1,45	28—53	29—54	21—40	8—14

высокая — превышает или приближается к пределу текучести; консистенция грунтов чаще мягкопластичная или скрытотекучая. Только на отдельных дренированных участках, сложенных песками, естественная влажность составляет 4—10%.

Более сложное строение аллювия рек отмечается в Торомском прогибе. Здесь наряду с молодыми отложениями встречаются осадки средне- и раннеплейстоценового возраста, которые слагают террасы высотой 35—40 м. Эти отложения представлены валунами (60%), галькой (20%) с примесью гравия и дресвы и разнозернистым песчаным заполнителем. Мощность отложений до 40 м.

Среднеплейстоценовый аллювий слагает II надпойменную террасу в долине р. Тором и представлен валунно-галечниковыми плохо отсортированными, сильно ожелезненными отложениями с песчано-гравийным заполнителем. Вверх по разрезу галечники переходят в пески и супеси с тонкими прослоями суглинка. Мощность их в нижнем течении 40—60 м, в среднем — не более 20 м.

Верхнеплейстоценовые отложения слагают I надпойменную террасу рек Тором, Ал, Биранджа, Корякин и террасы малых рек, впадающих в Удскую губу. В долинах крупных рек русловой аллювий представлен галечниками с валунами и песчано-гравийным, иногда суглинистым заполнителем и редкими прослоями (до 0,4 м) крупнозернистого песка. Пойменный аллювий мощностью 1,2—1,8 м, иногда до 3,5 м представлен суглинками, супесями и песками с гравием.

Пластичность суглинков не соответствует содержанию глинистой фракции, что, вероятно, объясняется присутствием минералов каолинитовой группы. Предел текучести варьирует от 25 до 42%; предел раскатывания — от 18 до 30% и число пластичности — от 6 до 16%.

Супеси отличаются значительной песчанистостью и включением гравия и гальки. Плотность их 2,53—2,62 г/см³; объемная масса 1,46—1,74 г/см³; пористость 33—53%; естественная влажность до глубины 3 м изменяется от 12 до 35%.

Пески чаще крупные, гравелистые. Количество гравия в них (по единичным анализам) составляет 27—35%, гальки — до 26, содержание глинистой фракции не превышает 1—2%.

Голоценовый аллювий слагает низкую и высокую поймы. До глубины 4 м он представлен переслаивающимися суглинками, супесями, песками и глинами, которые вниз по разрезу сменяются галечниками с высокой примесью валунов (до 20%) и песчано-гравийным, иногда суглинистым заполнителем (20—50%) с прослоями песка (от 0,01 до 4 м).

Мощность голоценового аллювия в долинах малых рек 3—6 м, крупных — от 12 до 20 м.

Для гранулометрического состава пойменной фации характерна неоднородность. Так, в глинах и суглинках наряду с высоким содержанием глинистой фракции (38—51%) количество пыли достигает 39—41%. Фракции 2—0,05 мм в глинах содержится 10—21%, в суглинках — 27—60%; гравия и гальки в глинах содержится 10—15% и в суглинках — 20—40%.

Аллювиальные отложения, за исключением участков вблизи русел крупных рек, скованы многолетней мерзлотой. На открытых поверхностях I и II террас мерзлота залегает на глубине 0,6—0,8 м, на хорошо дренированных и залесенных участках — на глубине 2—3 м и более.

В устьевых частях малых рек и ручьев встречаются **аллювиально-пролювиальные отложения позднего плейстоцена и голоцена.** Состав конусов выноса пестрый. Для них характерна слоистость, обусловленная чередованием (через 0,4—1 м) прослоев с различной крупностью обломочного материала. В местах развития гранитоидов преобладают пески; на осадочных породах до глубины 0,6—1,5 м развиты суглинки и супеси с галькой, гравием и щебнем; ниже галечники, реже валунники.

Вдоль морского побережья узкой полосой развиты **голоценовые морские отложения,** слагающие пляжи, косы, береговые валы, террасы. Глубоко вдающиеся заливы и высокие приливы, характерные для Охотского моря, создают условия для заиливания отложений и развития прилиманных суглинков и глин.

Для пляжевых отложений типичны илы и гравийники с редкой галькой; для береговых валов до глубины 2—3 м — суглинки с прослоями (0,2—0,5 м) вязких илов, глубже — галечники. Террасы сложены галечниками с песчано-гравийным заполнителем и покровными суглинками, супесями, песками. Мощность отложений на пляжах и косах 4—6 м, на террасах 6—20 м.

Суровые климатические условия, наличие островной многолетней мерзлоты с глубины 0,6—1 м и переувлажнение грунтов способствуют развитию с поверхности торфяников мощностью 0,3—3 м, особенно в районе глубоких заливов.

Гравийники и галечники обычно косослоистые, хорошо окатанные. Мелкие галечники содержат 20% гравия и 40% песчано-суглинистого (береговые валы) или песчаного (террасы) заполнителя. Угол естественного откоса 40°. Пески от пылеватых до средней крупности; преобладают мелкие пески с высоким содержанием пылеватой фракции (до 45%). Плотность песков 2,65—2,67 г/см^3, объемная масса при максимальном уплотнении 1,54—1,7 г/см^3, пористость 36—42% (коэффициент пористости 0,51—0,72). Суглинки и глины прилиманного и лагунного генезиса характеризуются объемной массой влажного грунта 1,5—1,64 г/см^3, скелета грунта 0,95—1,06 г/см^3, пористостью 48—55%, естественной влажностью 51—64% (на террасах 21—33%). Содержание глинистой фракции (по 6 анализам) изменяется от 18 до 40%, 0,001 мм — от 8 до 14%, 0,05—0,005 мм — 30—52%, 0,5—0,05 мм — 18—50%; преобладают фракции мелкого песка (9—39%). Пластичность обычно невысокая. Число пластичности колеблется от 5 до 13; предел текучести 26—40; предел раскатывания 21—28%.

Ледниковые верхнеплейстоценовые отложения встречаются в троговых долинах. Мощность их очень не выдержана: минимальная (0,5—3 м) отмечается в седловинах и верхних частях склонов, максимальная (80—100 м) — в нижних частях склонов; преобладает 6—10 м.

Боковая морена представлена беспорядочным нагромождением глыб с небольшим количеством супесчаного и суглинистого заполнителя; в низах разреза, наряду с глыбами, появляется много дресвы и щебня (до 40%). Количество заполнителя составляет 10—40%. К устью трога постепенно уменьшается содержание обломочного материала, и в области развития конечных морен распространены валунные супеси и суглинки.

Гранулометрический состав морены характеризуется большой изменчивостью и невысоким содержанием глинистой фракции. Плотность моренных отложений невысокая и зависит от литологии. Объемная масса супесей 1,5—2,09 г/см^3, пористость 40—60%; у суглинков соответственно 1,5—1,65 г/см^3 и 50—55%. Естественная влажность зависит от экспозиции склона, наличия мерзлоты, абсолютной высоты ландшафта и колеблется в пределах от 12 до 39% для супесей и от 26 до 49% для суглинков. С изменением влажности связано и изменение консистенции от полутвердой до текучей. Предел текучести суглинков (по единичным определениям) составляет 38—64%, супесей — 20—30%; соответственно предел раскатывания 25—56 и 15—24%, число пластичности 7—10 и 5—7.

Склоновые отложения позднеплейстоценового и голоценового возраста покрывают почти сплошным чехлом мощностью 1—6 м, реже 10—15 м склоны и водоразделы. В резко расчлененном крутосклонном районе широко развиты гравитационные отложения, среди которых преобладают глыбовые и щебнисто-глыбовые незакрепленные или полузакрепленные осыпи. На склонах средней крутизны и пологих распространены делюво-коллювий и элюво-делювий, представленные глыбово-дресвяно-щебнистыми отложениями с супесчаным, песчаным или суглинистым заполнителем. Содержание заполнителя уменьшается с глубиной от 20—40 до 5—15%. В том же направлении увеличивается размер обломочного материала.

На водоразделах и пологих склонах слой элюво-делювиальных суглинков и супесей составляет 0,5—0,8 м. Состав его очень неоднороден. Характерно резкое изменение содержания щебня и дресвы на небольшом расстоянии. Предел текучести варьирует от 39 до 56%; предел раскатывания 23—39 и число пластичности 16—17; плотность пород 2,66—2,71 г/см^3; естественная влажность 21% (по единичному анализу).

На склонах холмисто-увалистых предгорий, окаймляющих долины рек Тором, Корякин и других, встречаются делювиально-солифлюкционные и делювиальные отложения, представленные суглинками и супесями со щебнем и глыбами мощностью от 2 до 6 м.

На северных склонах побережья в составе делювия много щебня, дресвы и значительное количество песчаной фракции (до 67%) при преобладании фракции 1—2 мм. Количество глинистых частиц не превышает 17%. В долинах крупных рек в составе делювия резко уменьшается количество песка (при этом доминирует мелкий песок) и увеличивается фракция пыли и глины. Предел текучести от 26 до 59% (в среднем 35%), предел раскатывания 21—50% (в среднем 25%); число пластичности 5—15; плотность 2,56—2,64 г/см^3; объемная масса 1,45—1,9 г/см^3; пористость 26—48%; естественная влажность колеблется от 11 до 42%.

Значительная протяженность региона с севера на юг, изменение климата, количества осадков, испаряемости, различная промерзаемость грунтов, разная степень льдистости приводят к большим колебаниям физических свойств отложений (табл. 46). На склонах северной и западной экспозиции с глубины 0,4—2,5 м отложения скованы

Таблица 46

Физические свойства склоновых отложений

Показатели	Супеси	Суглинки	Глины
Плотность, г/см³		2,66—2,71	
Объемная масса, г/см³	1,2—2	0,9- -2,02	1,6—22
Пористость, %	40—70	39—70	42—62
Естественная влажность, %	10—30	27—33	48—50
Пределы:			
текучести	24—46	27—57	47—69
раскатывания	16—39	17—40	22—46
Число пластичности	3—7	8—17	23—25

многолетней мерзлотой. Мощность сезонного протаивания на пологих склонах (3—8°) северной экспозиции в отрогах хр. Ям-Алинь 0,4—1, иногда достигает 2,5 м.

Гидрогеологические условия

Регион представляет собой систему интенсивно расчлененных горных массивов, основными типами вод которых являются трещинные и трещинно-жильные. Подземные воды локализуются, как правило, по долинам рек, в то время как водоразделы либо промерзлы, либо полностью дренированы. Наиболее распространены надмерзлотные и подмерзлотные воды.

Надмерзлотные воды приурочены к слою сезонного протаивания и заключены в аллювиальных гравийно-галечниковых или коренных трещиноватых породах. Они образуют на глубине 0,5—2,5 м горизонт малой мощности, полностью промерзающий зимой. Дебиты родников в аллювиальных отложениях до 2 л/с, в коренных породах — не более 0,1 л/с.

Подмерзлотные трещинные воды вскрыты скважинами на глубине 50—70 м. Воды напорные, иногда дают самоизлив из скважин с дебитами от 0,2 до 1 л/с.

На юге региона преобладают грунтовые трещинные воды, приуроченные к зоне региональной трещиноватости. Глубина залегания их в долинах рек 1—5 м. Водообильность пород в основном низкая. Коэффициенты фильтрации, как правило, равны 0,01—0,5 м/сут. Дебиты родников не превышают 0,5 л/с. Повышенной обводненностью обладают лишь зоны мощных тектонических нарушений и участки развития кавернозных и закарстованных известняков, где водопроницаемость достигает 5—10 м/сут. Дебиты родников в зонах разломов колеблются от 2 до 12 л/с, в закарстованных известняках достигают 25 л/с.

Кроме трещинных вод в долинах рек распространены грунтовые поровые воды аллювиальных отложений. Они образуют маломощный водоносный горизонт (3—5 м) спорадического распространения в виде верховодки. В сухой период летом и зимой он не функционирует.

Водообильность аллювиальных отложений, как правило, низкая. Дебиты родников обычно не превышают 1—2 л/с.

Благодаря сильной расчлененности рельефа и весьма быстрому водообмену подземные воды региона преимущественно ультрапресные с минерализацией до 0,1, редко до 0,2 г/л, гидрокарбонатные кальциевые,

обладают выщелачивающей и углекислотной агрессивностью. Лишь трещинно-жильные воды сульфатно-карбонатного кальциево-магниевого состава с минерализацией до 0,6 г/л являются неагрессивными.

Современные геологические процессы и явления

Горный резко расчлененный крутосклонный рельеф и суровый климат способствуют интенсивному развитию процессов физического выветривания, которое приводит к широкому распространению крупноглыбовых и щебнисто-глыбовых осыпей. Они покрывают склоны, водоразделы и образуют огромные каменные поля в осевой части хребтов, лишенной лесной растительности. В период снеготаяния наблюдается движение их вниз по склону. На более пологих склонах южной экспозиции с наиболее мощной зоной сезонного протаивания развиваются процессы солифлюкции, в результате которых возникают ярусы солифлюкционных террас. Такие террасы наблюдались на высоте 1200 м на хр. Джагды. В суженных долинах рек на мелких участках, промерзающих до дна, образуются крупные наледи удлиненной формы протяженностью до 3 км с мощностью льда 2—4 м. Некоторые наледи сохраняются в течение 2—3 лет.

Большая скорость течения рек, сильно возрастающая в паводок, приводит к постоянному подмыву берегов. Протяженность подмываемых участков может достигать 2 км, высота уступов в рыхлых породах — 2—4 м, в скальных — до нескольких десятков метров.

В долинах наиболее крупных рек, протекающих в пределах низкогорья (Торомский прогиб) в связи с неглубоким залеганием многолетнемерзлых пород и превышением осадков над испарением, развито интенсивное заболачивание. Площади отдельных болотных массивов колеблются от 1 до 900 км^2. В днищах и на пологих склонах этих же долин возникают бугры пучения термокарст. Бугры пучения продолговатой формы высотой 0,3—3 м, шириной 1—8 м, длиной 2—15 м. Сложены они мерзлым торфом с линзами льда 0,3—0,5 м. С явлениями термокарста связано образование провальных озер, наиболее распространенных в долине р. Тором. Они имеют округлую форму до 0,2—0,6 км в поперечнике, глубиной 0,5—3 м.

Морское побережье подвержено процессам абразии, которые наиболее интенсивны во время приливов и штормов. В районе скалистых мысов постоянно происходит обрушение с образованием обрывов высотой до 250 м значительной протяженности. Скорость отступания берега 5 м в 100 лет.

На междуречье Тайкан и Тыль в палеозойских известняках отмечается развитие карстовых воронок.

Основная часть территории антисейсмична. В зонах глубинных разломов, особенно в северной части региона, возможны землетрясения, достигающие 6 баллов и более.

УДСКОЙ РЕГИОН

Удской регион протягивается от верховьев до устья р. Уды и вдоль побережья Охотского моря до м. Борисова. В структурном отношении он представляет собой мезозойский прогиб, существующий в настоящее время как межгорная впадина. Центральная часть региона занята

широкой (40—60 км) террасированной долиной р. Уды и представляет собой заболоченную низменную поверхность абс. выс. 40—100 м, расчлененную многочисленными протоками (густота расчленения 0,5—0,7 км/км^2). Вдоль берега моря широкой полосой (4—10 км) протягивается пологоволнистая равнина (абс. выс. 100—200 м), слабонаклоненная в сторону моря и густо расчлененная долинами рек и ручьев (0,7—1 км/км^2). Глубина вреза наиболее крупных рек 60—80 м. К морю равнина обрывается 40—60-метровым отвесным уступом. По периферии равнинные пространства окаймлены полосой плоских холмов и увалов шириной 20 км, характеризующихся абсолютными отметками 200—400 м и расчлененных через каждые 1—2 км речной сетью. Поверхности водораздельных пространств слегка выпуклые, заболоченные, с большим колнчеством озер.

Реки характеризуются быстрым теченнем и большнми весенними разливами. В приустьевых частях на них оказывают влияние морские приливы, в связи с чем подъем воды в устье р. Уды достигает 7 м, в другнх реках — 1,5 м.

Климат региона муссонный. Охотское море действует отепляюще на его прибрежную часть и обусловливает летом значительный привнос влаги. Среднегодовая температура 3,9—4,3°; среднегодовой коэффициент увлажиения на большей части территории 1,15—1,2, в нижнем течении Уды достигает 1,5 и более. Среднегодовое количество осадков в прибрежных районах 660—770 мм, в удалснии от моря уменьшается до 490—560 мм. Около 90% осадков приходится на летние месяцы. Первый снег выпадает в конце сентября. Высота снежного покрова на открытых местах побережья 4—14 см, в защищенных — до 113 см, в предгорьях — до 300 см, в глубоких долинах снежники могут сохраняться до нового снега.

Регион расположен в зоне прерывистой многолетней мерзлоты. В предгорьях, на склонах северной экспозиции мощность многолетнемерзлых пород достигает 50 м, на равнинах колеблется от 3,5 до 40 м. В долинах рек мерзлота отмечается на глубине 0,5 м, на дренированных водораздельных грядах — на глубине 1,5 м. В устье р. Уды, благодаря отепляющему действию моря, кровля многолетнемерзлых пород опускается на глубину 5 м. Глубина сезонного промерзания грунтов до 3 м. Около 50% территории заболочено.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Удской прогнб был заложен в раннем мезозое на вовлеченной в мезозойские движения окраине Сибирской платформы. С конца триаса до начала поздией юры он испытывал геосинклинальное погружение, с поздней юры вступил в орогенный этап развития, превратившись в кайнозое в межгорную впадину.

Геосинклинальное прогибание территории характернзовалось образованием морских терригеиных толщ сероцветной формации. В орогенный этап возникли континентальные терригенная и терригенно-вулканогенная молассовые формации (поздняя юра — ранний мел), толщи наземных вулканогенных пород (поздний мел) и массивы гранитоидов (поздний мел — палеоген). В раннем плейстоцене в центральной части региона образовался узкий протяженный грабен (впоследствии к нему была приурочена долина р. Уды), заполнившийся рыхлыми отложениями аллювиального и, возможно, озерно-аллювиального гене-

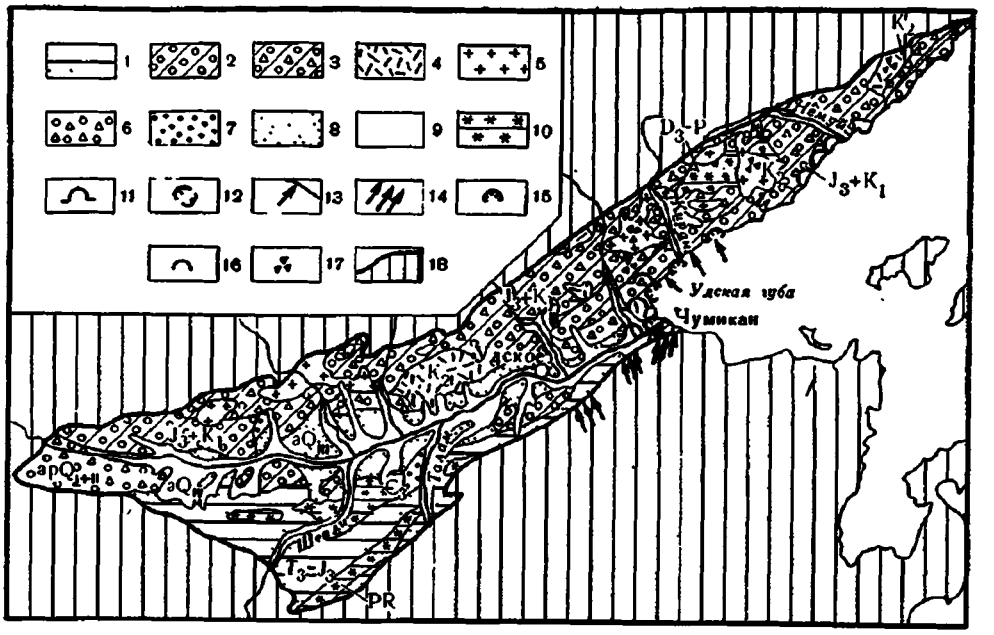


Рис. 45. Схематическая инженерно-геологическая карта Удского региона. Формации: 1 — песчано-глинистая сероцветная (T_3—J_3); 2—3 — молассовые (J_3+K_1) соответственно: терригенная и терригенно-вулканогенная; 4 — липаритовая (K_2); 5 — гранитоидная (K_2). Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений: 6—7—нижне-среднеплейстоценовые соответственно: аллювиально-пролювиальные (apQ_{I-II}) и аллювиальные (aQ_{I-II}); 8 — верхнеплейстоценовые аллювиально-пролювиальные (apQ_{III}); 9 — голоценовые аллювиальные (aQ_{IV}); 10 — породы фундамента (PR, $\in_3$, D_3—P); 11 — бугры пучения; 12 — термокарст; 13 — абразия; 14 — солифлюкция; 15 — оползни действующие; 16 — оползни недействующие; 17 — осыпи и каменистые обвалы; 18 — граница региона и сопредельные территории

зиса. На остальной части территории, поднимавшейся в это время, сформировался маломощный чехол рыхлых отложений.

Отложения сероцветной формации триаса — поздней юры (рис. 45) накапливались в основном в открытом мелководном водоеме, глубоко вдававшемся в материк и являвшемся частью обширного многосинклинального бассейна. Основной источник сноса располагался на юго-западе. В этом направлении увеличивается роль грубообломочных фаций и резко возрастают мощности. Максимальная мощность (до 7 тыс. м) отмечается в бассейне р. Шевли, минимальная (несколько сотен метров) — на побережье Удской губы.

Формация состоит из ряда терригенных толщ, разделенных несогласиями. Степень дислоцированности их заметно уменьшается от древних к молодым. Доверхнеюрские образования характеризуются сложной складчатостью с углами падения крыльев до 50—60°, верхнеюрские залегают полого (до 30°), местами моноклинально. В составе формации преобладают песчаники и конгломераты (нередко туфогенные), подчиненное значение имеют алевролиты, туффиты, туфы. Состав отложений с запада на восток меняется от песчано-конгломератового с горизонтами туфов до алевролито-песчаного. В самых верхах появляются пресноводно-континентальные грубообломочные фации (полимиктовые песчаники и конгломераты) с косой слоистостью, обилием растительных остатков, слабой сортированностью и окатанностью обломоч-

ного материала, прослоями ракушняка, пластами угля и значительной примесью туфогенных образований.

Породы сероцветной формации трещиноваты на глубину 40—70 м. Средняя густота трещин 28 м²/м³. Количество их в алевролитах и аргиллитах почти в два раза больше, чем в песчаниках и конгломератах. Средние значения трещиноватости песчаников и конгломератов 25,2 м²/м³, алевролитов — 46,6 м²/м³. Это обусловливает чередование в разрезе сильнотрещиноватых горизонтов с малотрещиноватыми. Большинство трещин зияющие (1—10 мм), в туфах и алевролитах они обычно заполнены глинистыми продуктами выветривания, в зонах разломов и близ них заполнены кальцитом и кварцем. Массивы пород сероцветной формации отличаются большой прочностью в связи с сильной окварцованностью пород по трещинам и незначительным содержанием в их составе туфов, наиболее легко поддающихся выветриванию.

Плотность песчаников сероцветной формации 2,49 г/см³ (112 определений), алевролитов — 2,65 г/см³ (16 определений). В направлении с запада на восток, по простиранию впадины и от ее бортов к центру, по данным Завадского, Гессена и других (1965), происходит уменьшение плотности терригенных пород и возрастание значений открытой пористости (табл. 47).

Таблица 47

Значения открытой пористости верхнеюрских отложений

Бассейны рек	Пористость, %	Средняя пористость, %	Количество определений
Суникан	0,18—5,44	2,4	20
Шевли	0,24—7,42	2,5	69
Урми	0,46—11,2	3,33	128
Гербикан	0,57—12,21	5,07	24

Средние значения пористости увеличиваются почти в два раза от алевролитов к песчаникам и конгломератам. Средняя пористость верхнеюрских песчаников и конгломератов 3,33% (112 определений), алевролитов — 1,75% (16 определений) и минимальная пористость соответственно 2,14 и 1,22%.

Терригенная молассовая формация поздней юры — раннего мела представлена в основном продуктами размыва горных сооружений, накопившихся в озерно-болотных условиях. На побережье р. Уды это преимущественно грубообломочные отложения, представленные в низах конгломератами, нередко валунными, выше по разрезу и в центре прогиба—разнозернистыми аркозовыми песчаниками с прослоями алевролитов, гравелитов, углистых аргиллитов, углей. На левобережье широко развиты пепловые туфы и туфобрекчии, переслаивающиеся с туфопесчаниками, туфоалевролитами, углисто-глинистыми сланцами. Конгломераты и эффузивы имеют подчиненное значение. Мощность отложений, по данным М. С. Нагибиной (1969), увеличивается с юго-запада на северо-восток от 650 до 1400 м.

Породы формации смяты в пологие складки (10—20°), в массиве до глубины 70 м трещиноватые. В связи с широким развитием пород, легко поддающихся выветриванию (туфов, алевролитов и других), большинство трещин заполнено глинистыми продуктами выветривания.

Плотность невыветрелых туфов и туфопесчаников 2,69 г/см^3; объемная масса 2,61 г/см^3; коэффициент размягчения 0,81; морозостойкость 1,11; износ их в барабане Деваля составляет 2,1%. Пористость туфов 2,97%, туфопесчаников — 2,23%; водопоглощение соответственно 0,41 и 0,43—1,35. Временное сопротивление сжатию углисто-глинистых сланцев в сухом состоянии не более $200 \cdot 10^5$ Па.

Терригенно-вулканогенная молассовая формация поздней юры-раннего мела характеризуется значительным содержанием вулканогенных пород, что связано с усилившимися в период ее формирования расколами земной коры. Она протягивается вдоль северного борта впадины и представлена чередованием мощных (до 400 м) покровов порфиритов с туфами, туфобрекчиями, туфоконгломератами и туфопесчаниками. Мощности пачек пирокластических пород составляют 5—100 м. Местами, в самых верхах разреза, появляются покровы кварцевых порфиров, фельзитов и других пород кислого состава. Вулканогенные породы в южном направлении выклиниваются. Максимальная мощность формации 1400 м.

Наиболее прочными в составе формации являются порфириты, наименее прочными — выветрелые разности туфов и туфобрекчий. Временное сопротивление сжатию порфиритов в сухом состоянии может достигать $2990 \cdot 10^5$ Па, в то время как у выветрелых туфов и туфопесчаников оно колеблется от $200 \cdot 10^5$ до $400 \cdot 10^5$ Па. Невыветрелые туфы выдерживают нагрузки до $1800 \cdot 10^5$ Па.

Липаритовая формация позднего мела пользуется незначительным распространением в регионе и развита в основном в пределах северного крыла впадины. Вулканогенные образования залегают почти горизонтально и представлены кварцевыми порфирами, липаритами, дацитами и их туфами.

Образования гранитоидной формации позднего мела слагают ряд массивов и отличаются удивительной свежестью. Из-за незначительности распространения вулканогенные и интрузивные породы в регионе детально не рассматриваются.

Аллювиальные и аллювиально-пролювиальные отложения широко распространены в регионе и образуют аккумулятивный чехол пойменных и надпойменных речных террас, а также предгорные шлейфы. Самые древние аллювиальные отложения — ранне-среднеплейстоценовые — приурочены к высоким террасам крупных рек и слагают основную часть разреза рыхлых отложений в Удском грабене. Мощность их 15—60 м, в Удском грабене достигает 100 м, а к верховьям рек уменьшается до 2 м. По составу это слабо сцементированные галечники и валунники с гравийно-галечным или песчано-суглинистым заполнителем от 5 до 30%, реже пески и супеси.

Верхнеплейстоценовые аллювиальные отложения слагают террасы высотой 4—12 м. Они представлены галечно-валунным материалом с 10—30% гравийно-песчаного заполнителя. В низовьях многих рек в них появляются пески, супеси, суглинки с 15—20% гальки (в низовьях р. Уды галечно-валунный материал перекрыт семиметровым горизонтом песка). Верхнеплейстоценовый аллювий плохо сортирован, в небольших реках — грубообломочный. Мощность его колеблется от 1,5 до 15 м, в погруженных приустьевых частях рек — до 60 м.

Низкая и высокая поймы, а также русла рек сложены современным аллювием. До глубины 0,1—4 м это супеси и суглинки, ниже — галечники с примесью валунов и гравийно-песчаным заполнителем. Мощность аллювия 0,5—6 м, в приустьевых частях рек до 20 м.

Аллювиально-пролювиальные отложения сформировались в основном в эпоху верхнеплейстоценового оледенения. Они развиты в долинах многих рек, представлены неокатанным и несортированным обломочным материалом. Их мощность 6—8 м. Более древние отложения отмечаются в северном борту Удского грабена, представлены валунно-галечным материалом с песчано-глинистым цементом мощностью до 25 м. Эти отложения имеют подчиненное значение.

В составе аллювиальных отложений в целом преобладают галечники. Они на 50—70% состоят из гальки с примесью валунов, содержат 20—40% гравия, 20—35% песка и не более 10% алевритового материала. Нижне-среднеплейстоценовые галечники характеризуются некоторой сцементированностью и сильной выветрелостью обломочного материала, заметно возрастающей вниз по разрезу. В нижних горизонтах галька и валуны нередко превращены в дресву или глинистые продукты выветривания, с чем, по-видимому, связано присутствие суглинистого материала в составе их заполнителя. Верхнеплейстоценовые галечники сравнительно свежие, содержат небольшую примесь валунов и преимущественно гравийный заполнитель (количество гравия в нем 54—72%). Голоценовые галечники очень свежие, хорошо отсортированы, содержат небольшую примесь валунов и в качестве заполнителя — в основном гравелистые пески. Плотность галечников от 2,4 до 2,74 г/см^3; объемная масса колеблется от 1,44 до 1,64 г/см^3 (6 определений); объемная масса скелета 1,38—1,56 г/см^3; пористость 40—50%; коэффициент пористости нижне-среднеплейстоценовых галечников 0,87, более молодых — 0,95. Угол естественного откоса в сухом состоянии 32—34°, под водой — 28—30°. Коэффициенты фильтрации в зависимости от пористости и состава заполнителя меняются от 0,46 до 98 м/сут.

Пески преимущественно кварц-полевошпатовые средней крупности, в приустьевых частях рек чаще крупные, с поверхности — пылеватые. Они содержат 50—90% песчаной фракции, до 30% гальки и гравия, а в голоценовых отложениях до 40%, и пылеватых частиц не более 3—7% в молодых отложениях и до 30% — в ранне-среднеплейстоценовых. Повышенное содержание пылеватых частиц в древних песках объясняется более сильным выветриванием их полевошпатовой части. Плотность песков колеблется от 2,39 до 2,92 г/см^3, минимальные значения типичны для пылеватых заиленных разностей; объемная масса 1,23—1,94, среднее 1,5 г/см^3 (25 определений); объемная масса скелета 1—1,77, среднее 1,32 г/см^3 (18 определений); пористость изменяется от 26 до 71%, среднее 50% (18 определений).

Угол естественного откоса песков в сухом состоянии составляет 33—44°, под водой — 26—30°. Коэффициенты фильтрации колеблются от 0,76—11,6 (у наиболее древних) до 5,8—60 м/сут (у молодых). Максимальные значения коэффициентов фильтрации характерны для гравелистых и крупных песков, минимальные — для пылеватых.

Супеси характеризуются либо равным соотношением алевритовых и песчаных частиц (35—40%), либо некоторым преобладанием частиц 0,05—0,25 мм. Глинистой фракции в них не более 20%. Нередко содержится примесь гравия и гальки. Плотность отличается значительными колебаниями (от 2,43 до 2,76 г/см^3), максимальные значения у гравелистых супесей; объемная масса от 1,25 до 1,94 г/см^3; объемная масса скелета составляет 0,95—1,64 г/см^3; пористость 43—45% у ранне-среднеплейстоценовых и 57—63% у более молодых; естественная влажность колеблется от 18 до 23% у наиболее древних и от 33 до 79% у позднеплейстоценовых и голоценовых. Максимальные значения присущи оторфованным супесям, минимальные — гравелистым. Предел

текучести супесей раннего и среднего плейстоцена 24—27, позднего плейстоцена — 32—45 и голоцена — 42—58; предел раскатывания соответственно 20—25, 30—41 и 36—54; число пластичности 2—4, 2—5 и 4—6. Консистенция мягкопластичная и текучая, показатель консистенции 0,5—2,1. Коэффициенты фильтрации колеблются от 0,4 до 46,5 м/сут. Минимальные значения у наиболее древних отложений.

Почти все рыхлые образования с глубины 0,5—1,5, реже с 5 м скованы многолетней мерзлотой. Наименее затронуты мерзлотой голоценовые отложения, наиболее — верхние части разрезов высоких террас. По данным электропрофилирования, мощность мерзлых рыхлых отложений в приустьевых частях крупных речных долин достигает 80 м, мелких — 4—25 м, при этом отмечается высокая льдистость верхней части мерзлой толщи. Выше границы сезонного промерзания все породы маловлажные.

Вдоль берега моря узкой полосой развиты **морские отложения**. Они слагают пляж, береговые валы, аккумулятивную террасу высотой 5—6 м и представлены галечниками с гравийно-песчаным заполнителем, примесью валунов на пойме и глыбово-щебнистого материала у подножия абразионных уступов. По мере удаления от берега галечники сменяются пловатыми суглинками и песками с редкой галькой и гравием. Мощность современных морских отложений до 6 м, в береговых валах мощность достигает 10—15 м. В откосах морские отложения легко осыпаются и размываются. Угол естественного откоса галечников 40°, песков — 25—35° (в зависимости от влажности).

В долинах крупных рек и на междуречных пространствах пологоволнистой равнины широко развиты **болотные отложения**, представленные торфом мощностью 0,5—1,5 м, рыхлым, плохо разложившимся с примесью минеральных частиц до 15%. Летом и осенью торф с глубины 0,2 м или с поверхности насыщен водой, в остальное время года скован многолетней мерзлотой и нередко содержит прослои и линзы льда мощностью до 2 см. Коэффициент фильтрации торфа, взятого с поверхности поймы, равен $9 \cdot 10^{-6}$ м/сут, а с водораздельного пространства — $3 \cdot 10^{-3}$ м/сут.

Склоновые отложения мощностью не более 3 м преимущественно супесчано-глинисто-щебнистого состава. На плоских междуречьях отмечаются невыдержаиные прослои глин мощностью 0,5—5 м. На основной части территории склоновые отложения талые. Лишь на склонах северной экспозиции они с глубины 0,4—1 м скованы многолетней мерзлотой. Коэффициенты фильтрации талых суглинков со щебнем (40%) в средней части склона 0,007—0,0002 м/сут, разнозернистых песков со щебнем (20%) в нижней части склона — 3,9, пылеватых песков и супесей — 0,5—0,95, крупных и гравелистых песков — 2—15 м/сут.

Физические свойства супесей и песков с глубины 0,6—0,9 м бассейна р. Мутэ приведены ниже.

Плотность, г/см³	2,33—2,41	2,5
Объемная масса, г/см³:		
влажного грунта	1,39—1,40	1,42
скелета	1,06—1,07	1,13
Пористость, %	0,54—0,56	
Коэффициент пористости	1,18—1,27	
Степень влажности	0,59—0,6	0,53
Естественная влажность, %	30,1—32,4	25,9
Предел текучести	26—31	—
Предел раскатывания	22—26	—
Число пластичности	4—5	

Супеси склоновых отложений в отличие от аллювиальных крупные и легкие. Они содержат до 75% песчаных частиц, около 20% пылеватых и не более 4% глинистых частиц. Пески преимущественно средние, содержат песчаной фракции около 60%, пылеватой до 9 и глинистой не более 1%.

Гидрогеологические условия

Регион представляет собой артезианский бассейн преимущественно трещинных, трещинно-жильных и пластово-трещинных вод в осадочных и вулканогенно-осадочных породах юры и мела. К верхней трещиноватой зоне пород на участках выходов их на поверхность приурочены свободные трещинные надмерзлотные воды, глубина залегания которых от 1 до 40 м. В летний период они образуют многочисленные родники с дебитами 0,01—1,5 л/с. Зимой большинство родников не функционирует.

Ниже зоны выветривания в породах юры и мела заключены напорные подмерзлотные трещинно-жильные и пластово-трещинные воды, вскрытые скважинами на глубинах 43—75 м. Водопроницаемость пород, благодаря их неравномерной трещиноватости, различна. Наибольшие коэффициенты фильтрации (до 20 м/сут) характеризуют зоны тектонических нарушений. Вне этих зон показатели водопроницаемости не превышают, как правило, 1—2 м/сут. Дебиты скважин в зоне разлома при понижении уровня на 14 м составляют 10 л/с (удельный дебит 0,72 л/с). При вскрытии пластово-трещинных вод в слаботрещиноватых песчаниках при понижении на 43 м дебит не превышает 0,8 л/с (удельный дебит 0,018 л/с).

Воды мезозойских отложений до глубины 100 м пресные с минерализацией до 0,5 г/л, преимущественно гидрокарбонатные смешанные по катионам, обладают агрессивными свойствами (агрессивность выщелачивающая и углекислотная). Исключение составляют воды мощной зоны разлома, вскрытые скважиной в пос. Чумикан, у которых хлоридный смешанный по катионам состав с минерализацией 10 г/л, что обусловлено, видимо, их связью с водами Охотского моря.

В аллювиальных отложениях заключены грунтовые воды, которые частично приурочены к слою сезонного протаивания. Глубина залегания их составляет 1—5 м. В долине р. Уды они образуют водоносный горизонт мощностью 40—75 м. Коэффициенты фильтрации песчано-гравийно-галечниковых отложений до 120 м/сут. Дебит скважин достигает 9,3 л/с при понижении уровня на 9 м. По химическому составу воды аллювия гидрокарбонатные кальциево-натриевые с минерализацией до 0,2 г/л, близ морского побережья — гидрокарбонатно-хлоридные натриевые с минерализацией до 0,4 г/л. Как правило, эти воды обладают выщелачивающей и углекислотной агрессивностью.

Современные геологические процессы и явления

Суровые климатические условия и многолетняя мерзлота обусловливают широкое развитие в регионе таких процессов и явлений, как термокарст, пучение грунтов, заболачивание. Не менее широко развиты процессы, связанные с физическим выветриванием, абразией и др. Возникновению термокарстовых явлений способствует значительная

льдистость верхних горизонтов многолетнемерзлых рыхлых пород. Вследствие вытаивания льда образуются провальные западины, к которым приурочены озера шириной до 1,5 км и глубиной 2—2,5 м. Бугры пучения тяготеют к днищу Удской долины и к участкам развития высоких террас в долинах более мелких рек. Бугры округлой или овальной формы высотой 1—1,2 м, внутри них ядро мерзлого торфа. Межбугровые понижения заняты моховым, реже осоковым болотом. Процессы заболачивания развиты в днищах долин и на выположенных частях склонов. Торфяной покров, образующийся при этом, характеризуется сильной обводненностью и промороженностью с октября по май.

Процессы, связанные с физическим выветриванием, привели к возникновению на плоских междуречьях глыбово-щебнистых развалов с небольшим количеством мелкозема, на крутых склонах — осыпей, в основании склонов — делювиальных и аллювиально-пролювиальных шлейфов.

В пределах морского побережья развиты обвалы, оползни, овражкообразование. Под активным действием морского прибоя возникают многочисленные обвалы с образованием обрывов высотой до 250 м, подводных камней и др. Вышележащие блоки пород оползают по суглинисто-глинистым продуктам выветривания пород молассовых формаций и по их обводненным прослоям. Длина оползневых тел вдоль берега достигает 450 м, иногда 1,3 км, ширина 0,15 — 0,6 км, высота 10—40 м. Береговые уступы, особенно севернее устья р. Уды, прорезаны многочисленными крутостенными оврагами длиной 1—3 км, шириной (в устье) 100—200 м и глубиной 40—60 м. Пляж постоянно находится в сфере действия волновых процессов, в результате чего происходит смещение береговой линии и перенакопление обломочного материала. В долинах почти всех рек, особенно в их нижних и средних течениях, происходит подмыв берегов. При этом в рыхлых четвертичных отложениях образуются уступы до 10—15 м высотой. Протяженность подмываемых участков 0,5—0,8 км, скорость подмыва 0,4—0,6 м в год.

БУРЕИНСКИЙ РЕГИОН

Регион расположен в бассейне верхнего течения р. Буреи и представляет собой депрессию, вытянутую с севера на юг почти на 300 км и состоящую из Верхнебуреинской, Тырминской и Гуджальской впадин, объединенных под общим названием Буреинская впадина. Орографически впадина представлена равнинно-увалистыми пространствами с абсолютными отметками 350—500 м и относительными — 60—80 м. Поверхность ее расчленена гидросетью на увалы с плоскими водоразделами и пологими террасированными склонами и характеризуется сильной заболоченностью, большим количеством озер и модулем поверхностного стока до 3,5 л/с с 1 км^2. Коэффициент густоты речной сети 0,55—1,1 км/км^2.

Основной водной артерией региона является р. Бурея. Ширина ее долины 4—9 км, поймы 2—4 км, ширина надпойменных террас до 3 км. Большинство притоков Буреи имеет характер горных водотоков, перемерзающих зимой почти полностью.

Регион характеризуется резко континентальным климатом со среднегодовыми температурами минус 2,6—6,1° и явлениями температур-

ных инверсий, в результате которых зимой в ряде мест происходит сильное переохлаждение территории (среднемесячная температура января в районе пос. Чекунда достигает—34,4°), а летом сильное ее перегревание. Годовое количество осадков 520—800 мм, из них 79—90% выпадает летом. Мощность снежного покрова 25—40 см. Глубина сезонного промерзания грунтов 1,5—4 м.

На 60—65% площади развиты многолетнемерзлые породы. Мощность их увеличивается с запада на восток и с юга на север от 10 до 70 м. Глубина залегания мерзлой толщи на сухих склонах, бровках террас 3—4 м, на заболоченных поверхностях 0,3—0,6 м. Нижняя граница многолетнемерзлых пород в центральной части региона залегает на глубине 20—60 м, в районе пос. Умальта — на глубине 80 м. По данным геотермических наблюдений температура мерзлых пород до глубины 5—7 м плавно понижается от 0 до —2,3°, глубже — постепенно повышается, достигая нуля у подошвы мерзлой толщи. Наиболее охлажденными являются грунты заболоченных пойм.

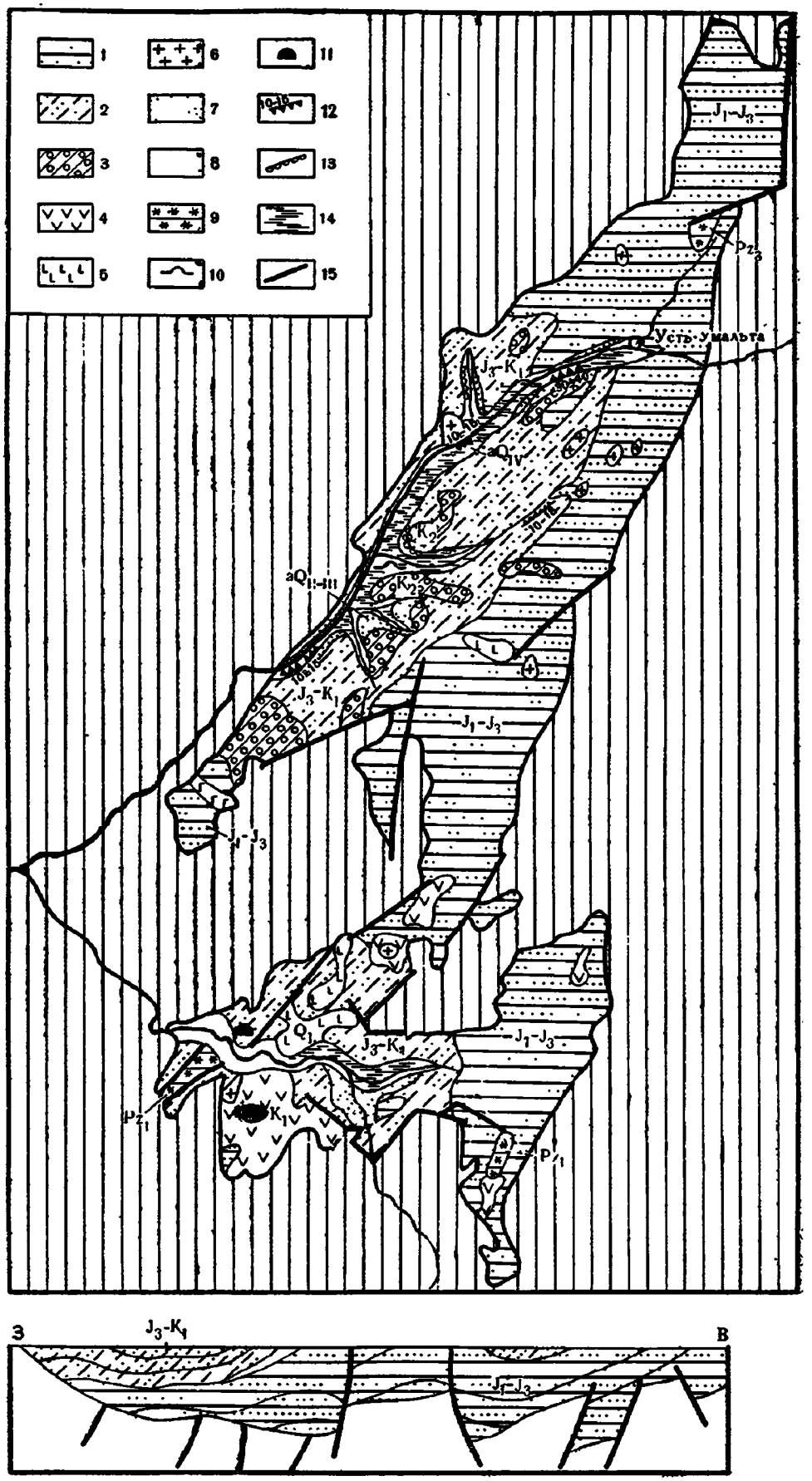
Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

В структурном отношении регион представляет собой прогиб, заложившийся в раннем мезозое на границе Сихотэ-Алинской геосинклинальной области и Буреинского массива. В течение юрского периода он испытывал геосинклинальное развитие, на границе юры и мела вступил в орогенный этап. С конца позднего мела прогиб существует как межгорная впадина на восточной окраине Буреинского массива. Фундаментом впадины служат домезозойские метаморфические и интрузивные образования, глубоко погребенные под чехлом мезозойских пород и обнажающиеся лишь в обрамлении структуры. Осадочный чехол образован породами песчано-глинистой сероцветной формации, возникшей в геосинклинальный этап развития прогиба, угленосной и терригенной молассовой формациями, сформировавшимися в орогенный этап. Породы осадочного чехла близ восточного борта структуры смяты в узкие линейные складки, близ западного борта — в пологие, напоминающие брахиформные. Они прорваны и метаморфизованы позднемеловыми гранитоидами и в южной части впадины перекрыты вулканогенными образованиями андезитовой и базальтовой формаций.

В течение четвертичного периода Буреинская впадина служила областью накопления продуктов разрушения дочетвертичных пород. В результате эти породы на склонах и водоразделах перекрыты чехлом отложений склонового ряда, а в долинах рек — аллювиальными образованиями.

Песчано-глинистая сероцветная формация (рис. 46) представлена морскими и частично лагунными отложениями юрского возраста и образовалась в результате ряда трансгрессий. Начало каждой трансгрессии сопровождалось накоплением грубообломочного материала, а после стабилизации режима — алеврито-песчаного. Основным источником сноса в это время был располагавшийся на западе Буреинский массив.

Породы формации образуют узкую моноклиналь в восточной части региона, падающую на запад под углом 30—40° и осложненную рядом разрывов. В западном направлении нижние горизонты выклиниваются, состав отложений становится более грубым, а мощности уменьшаются вдвое. Максимальная мощность отложений 5000 м.


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
J_1-J_3
P_{z_3}
Усть-Умальта
J_3-K_1
aQ_{IV}
K_2
aQ_{II-III}
K_{2_3}
J_3-K_1
J_1-J_3
J_1-J_3
Q_1
J_3-K_1
J_1-J_3
P_{z_1}
K_1
P_{1}
З
J_3-K_1
В
J_1-J_3

В составе формации преобладают песчаники и алевролиты полимиктового или аркозового состава с кремнисто-глинистым, известково-глинистым, известково-кремнистым и другими цементами. Не более 5% объема формации составляют аргиллиты, вулканомиктовые и известковистые образования, тяготеющие к верхам разреза. Характер переслаивания пород грубо ритмичный. Различные по зернистости песчаники чередуются с алевролитами и аргиллитами через 10—125 м, реже они участвуют в тонком флишондном напластовании (0,1—4 м). В основании каждой толщи, образовавшейся в результате одной трансгрессии, присутствует пачка конгломератов или грубообломочных песчаников мощностью от 50 до 120 м. Галька и валуны в конгломератах достигают 1—2 м в диаметре, представлены гранитами, гнейсами, кварцитами и кристаллическими сланцами; сцементированы грубозернистым аркозовым песчаником.

В массиве на глубину 20—70 м породы сильнотрещиноватые, разреженная сеть трещин опускается до 200—300 м, в зонах разломов отмечается повышенная трещиноватость. В песчаниках трещины повторяются через 1—10 см, в алевролитах и аргиллитах — через 0,5—4 см. В зависимости от степени трещиноватости полная пористость песчаников колеблется от 2,2 до 17,9%; алевролитов — от 1,56 до 5,58%; пористость насыщения песчаников 1,03—17,43%, алевролитов — 1,5—3,64%; коэффициенты фильтрации песчаников от 5 до 25 м/сут, алевролитов — 0,1—4,5 м/сут.

Прочность трещиноватых пород по сравнению с монолитными снижается в 1,5—2 раза. Невыветрелые слаботрещиноватые песчаники характеризуются временным сопротивлением сжатию в сухом состоянии от $1425 \cdot 10^5$ до $1795 \cdot 10^5$ Па, на контактах с интрузиями — до $2750 \cdot 10^5$, трещиноватые — от $810 \cdot 10^5$ до $1230 \cdot 10^5$ Па. В водонасыщенном состоянии и после замораживания эти показатели существенно не меняются. Исключение составляют сильнотрещиноватые разности, у которых при водонасыщении временное сопротивление сжатию может снижаться до $310 \cdot 10^5$ Па.

Породы формации на равнинах и склонах северной экспозиции находятся в многолетнемерзлом состоянии. Наибольшая льдонасыщенность приурочена к границе скальных и рыхлых пород. Здесь отмечаются линзы льда мощностью от 3 до 15 см, а иногда до 0,5 м (междуречье Чегдомын — Чемчуко).

Угленосная формация поздней юры-раннего мела представлена мощной (до 3500 м) толщей терригенных пород, наиболее угленасыщенной в нижней своей части, и характеризуется циклическим или незакономерным чередованием отдельных литологических разностей. Циклическое переслаивание характерно для западной части площади и связано с проявлением ряда циклов эрозии в областях сноса. Каждый цикл представлен снизу вверх: конгломератами, нередко глыбовыми, гравелитами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами, углями

Рис. 46. Схематическая инженерно-геологическая карта Буреинского региона. Формации: 1 — песчано-глинистая сероцветная (J_1—J_3); 2 — угленосная (J_3—K_1); 3 — терригенная молассовая (K_2); 4 — андезитовая (K_1); 5 — базальтовая (Q_I); 6 — гранитоидная (K_2). Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений: 7 — плейстоценовые аллювиальные (aQ_{II-III}); 8 — голоценовые аллювиальные (aQ_{IV}); 9 — породы фундамента (Pz_1, Pz_3); 10 — бугры пучения; 11 — наледи; 12 — участки подмыва берегов и их высота; 13 — участки развития оползней; 14 — районы интенсивного заболачивания; 15 — разломы

и туфами. Мощности псефитовых и псаммитовых слоев 5—10 м, алевритовых и пелитовых — 0,1—0,8, всего цикла — 35—40 м. В местах незакономерного переслаивания мощности отдельных литологических разностей колеблются от нескольких сантиметров до 120 м. В толще в целом преобладают песчаники аркозовые и полимиктовые с глинистым или глинисто-серицитовым цементом. Более тонкие литологические разности доминируют в углесодержащих пачках.

Породы формации смяты в пологие складки северо-восточного простирания. В массиве до глубины 30—50 м они трещиноваты, пересечены многочисленными разломами. В зонах разломов трещиноватость прослеживается до 150 м, а породы иногда разрушены до состояния глин. Трещины повторяются через 0,05—0,2 м. На пологих водоразделах и равнинах породы многолетнемерзлые.

Для алевритовых пород характерны высокое содержание песчаной фракции (30—35%) и значительная пылеватость 41—74% (30 проб). Содержание глинистого материала 9—22%. Плотность талых пород 2,49—2,71 г/см^3, мерзлых — 2,56—2,68 г/см^3; объемная масса соответственно 1,8—2,4 и 1,6—1,73 г/см^3; объемная масса скелета соответственно 1,38—1,8 и 0,98—1,26 г/см^3. Предел текучести алевритов колеблется от 35 до 44%, предел раскатывания от 27 до 36%, число пластичности 6—10, редко до 17. У талых алевритовых пород с глубиной увеличиваются сцепление (от $0{,}450 \cdot 10^5$ до $0{,}775 \cdot 10^5$ Па) и модуль общей деформации (от $170 \cdot 10^5$ до $480 \cdot 10^5$ Па) и уменьшается коэффициент уплотнения (от 0,021 до 0,008).

Плотность талых песчаников 2,61—2,65 г/см^3; объемная масса 2,08—2,38 г/см^3; коэффициент размягчаемости 0,65—0,89. В зависимости от степени выветрелости они характеризуются временным сопротивлением сжатию в сухом состоянии от $150 \cdot 10^5$ до $730 \cdot 10^5$ Па и в водонасыщении — от $95 \cdot 10^5$ до $650 \cdot 10^5$ Па. Влажность и льдистость мерзлых песчаников (с глубины 4—8 м, район ст. Ургал) следующие: суммарная влажность 40—63%, влажность минеральных прослоев 31,8—39,3%, влажность за счет льда-цемента 9,54—11,79%, за счет мерзлых включений — 7,4 — 32,45%, за счет незамерзающей воды — 22,26—27,5%. Льдистость за счет мерзлых включений 16,1—61,8%, за счет порового льда — 11,2—17%, суммарная льдистость—29—73%.

По данным А. Г. Козлова (1971), пористость пород возрастает вверх по разрезу формации: полная пористость верхнеюрских пород 10,45%, пористость насыщения 8,91%; у валанжинских, готеривских и барремских отложений соответственно 6,12—15,3 и 5,29—19,86%; баррем-аптских — 20,27—32,24 и 19,74—28,48%.

Коэффициенты фильтрации колеблются от 0,1 до 8 м/сут, преобладают 2—5 м/сут.

Терригенная молассовая формация позднего мела залегает с несогласием на всех более древних образованиях и представлена почти горизонтально лежащими конгломератами и песчаниками, реже алевролитами и аргиллитами, переслаивающимися через 2—40 м. Общая мощность отложений 125—250 м. Состав по площади неоднороден. Так, на междуречье Бурея — Нимакан это однообразные конгломераты мощностью около 125 м, а на междуречье Бурея — Якдыня — преимущественно грубозернистые песчаники. Характерной особенностью формации является слабая сцементированность пород (в них отмечаются линзы галечников, песков и глин мощностью 0,5—7 м). Они легко размываются в периоды дождей, местами до глубины 30 м разрушены до рыхлого состояния. На плоских слабо расчлененных площадях — многолетнемерзлые.

По данным Г. Н. Некрасова и Т. Е. Пельгуева (1952), нормативное давление на песчаники до $4 \cdot 10^5$ Па, на конгломераты — до $8 \cdot 10^5$, на алевролиты — до $3 \cdot 10^5$ Па.

Породы гранитоидной формации позднего мела слагают небольшие штокообразные тела в местах пересечения разломов. Это высокопрочные породы с временным сопротивлением сжатию более $1000 \cdot 10^5$ Па. Коэффициент фильтрации гранитоидов до 1,2 м/сут.

Образования андезитовой и базальтовой формаций распространены в регионе незначительно. Они возникли в орогенный и посторогенный этапы развития территории в связи с оживлением глубинных разломов в наложенном прогибе, развитом в основном за пределами региона. Породы этих формаций представлены андезитами, кварцевыми порфирами, их туфами и туфобрекчиями, базальтами; в андезитовой формации отмечаются туфопесчаники. В основном это высокопрочные породы с временным сопротивлением сжатию в приповерхностной зоне от $700 \cdot 10^5$ до $1700 \cdot 10^5$ Па, глубже — от $1400 \cdot 10^5$ до $3500 \cdot 10^5$ Па. Исключение составляют туфовые разности пород, легко размокающие в воде, быстро разрушающиеся при испытании на морозостойкость и с прочностью менее $200 \cdot 10^5$ Па. Повышенная хрупкость характерна для стекловатых кислых пород.

Коэффициенты фильтрации пород андезитовой формации 0,2—0,3 м/сут, базальтовой — до 6,5 м/сут. На глубине 100 м и более они не превышают 0,05 м/сут.

Аллювиальные отложения среднего и позднего плейстоцена и голоцена максимальной мощностью 40 м широко распространены в регионе. Плейстоценовые отложения слагают надпойменные террасы рек, голоценовые — их русла и поймы. В разрезе и те и другие имеют двучленное строение: с поверхности развиты суглинки, глины, супеси, пески, с примесью гальки и гравия (на террасах преобладают глины и суглинки, на поймах — пески), с глубины 1—4 м — галечники, гравийники, валунники с песчаным, супесчаным и суглинистым заполнителем. Русловые фации — гравийно-галечные с примесью валунов. Наиболее отсортированными являются пойменные отложения (коэффициент неоднородности 5—8), наименее отсортированы русловые отложения (коэффициент неоднородности 20—30). Отложения террас и пойм находятся в многолетнемерзлом состоянии (их температура колеблется от —1,4 до —2,6°), летом они оттаивают на глубину 2—3 м. Физические свойства талых суглинков, супесей и песков, по данным И. А. Холопешина (1968), приведены в табл. 48.

Галечники преимущественно средние и крупные. До 70% их объема составляет галька размером 20—80 мм, около 20% приходится на долю гравия и только 7—10% составляют песок и пыль. В крупных галечниках преобладает фракция 40—80 мм, фракции более 80 мм до 30%, песчаной и пылеватой фракций 10—40%. Объем пустот до 40%. Коэффициенты фильтрации галечников до 300 м/сут, валунников — 300—600 м/сут. Коэффициент морозостойкости галечников 16,7—19,3. Естественная влажность рыхлых мерзлых грунтов около 90%, тепловая осадка их около 10%. Породы обводнены с глубины 0,5—2 м, а на участках, где нет мерзлоты, — с глубины 1—6 м.

В долинах рек Буреи, Ургала, Дубликана, Тырмы аллювий перекрыт слоем торфа мощностью 0,5—1,5 м, редко 3 м. Торф неуплотненный, часто разжиженный, иногда с примесью иловатого и песчаного материала. Книзу он переходит в оторфованные суглинки и супеси с линзами тонкозернистого песка в основании. С глубины 0,1—0,5 м торф

Таблица 48

Физические свойства аллювиальных отложений

Породы, геологический индекс	Естественная влажность, %	Объемная масса, г/см³	Пористость, %	Коэффициент пористости	Пластичность		
					предел текучести	предел раскатывания	число пластичности
Пески, Q_{II-III}	5—13, для пылеватых до 35	1,59—1,86	46	0,84			
Пески, Q_{IV}	4—30, для пылеватых до 65	1,96—1,98	34—58	0,8—1,2			
Супеси, Q_{II-III}	11—18	1,59—1,71	43—50	0,74—0,97	20—39	15—32	4—7
Супеси, Q_{IV}	28—49	1,22—1,62	50—68	1,48—2,2	25—46	21—42	3—4
Суглинки, Q_{II-III}	19—30	1,46—2,07	38—60	0,6—1,54	25—50	18—35	5—17
Суглинки, Q_{IV}	28—53	1,56—2,06	50—59	1—1,45	29—54	21—40	8—14

водонасыщен, с конца октября находится в мерзлом состоянии. Объемная масса торфа 0,6 г/см³, коэффициент фильтрации 0,1 м/сут.

Отложения склонового ряда мощностью 1—6 м, редко 10—15 м, представлены щебнем с примесью дресвы или глыб и супесчано-суглинистым, реже глинистым заполнителем. Количество заполнителя в верхах 65—80%, на глубине 3,5 м не более 20%, глубже он исчезает совсем.

Физические свойства суглинков, супесей и глин представлены в табл. 49.

Таблица 49

Физические свойства склоновых отложений

Показатели	Щебнистые суглинки	Дресвянистые супеси	Глины
Объемная масса, г/см³ . . .	2,02	2	1,6—2,2
Пористость, %	39	40	46
Коэффициент пористости . .	0,74	0,63	0,83—1,63
Естественная влажность, %	27—33	10—30	48—50
Предел текучести	27—57	24—46	47—69
Предел раскатывания . . .	17—40	16—40	22—46
Число пластичности	8—17	3—7	23—25

Нормативные давления на суглинисто-щебнистые грунты $2 \cdot 10^5$—$3 \cdot 10^5$ Па, на дресвяно-щебнисто-глыбовые — $6 \cdot 10^5$—$8 \cdot 10^5$ Па. Отложения практически безводны.

Гидрогеологические условия

Регион представляет собой артезианский бассейн, характеризующийся широким развитием многолетнемерзлых пород мощностью от 10—18 м на юге до 60—70 м на севере. По отношению к мерзлоте выделяются воды надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные.

Надмерзлотные воды приурочены к слою сезонного протаивания и к таликам. Воды слоя сезонного протаивания заключены в щебнисто-суглинистых элювиальных и делювиальных образованиях, в песчано-галечниковых отложеннях надпойменных террас и в торфах. Они образуют в летний период горизонт мощностью от 0,3—1 м на марях до 3,5 м на незаболоченных участках. Зимой перемерзают. Выходы их на поверхность носят временный характер с незначительными дебитами до десятых или сотых долей литров в секуиду.

Таликовые воды приурочены к поймеиным аллювиальиым песчано-галечниковым отложениям наиболее крупных рек (Бурея, Ургал и др.). Талики преимущественно замкнутые, под руслами рек могут быть сквозные. Мощность водоносного горизонта 3—6 м, в период максимальиого промерзания (в марте — апреле) — 1—3 м. Глубина залегания вод 1—3 м. Воды свободные, зимой становятся напорными. Несмотря на небольшую мощность горизонта, благоприятный состав вмещающих пород обусловливает довольно высокую водоносность. Коэффициенты фильтрацни превышают 100 м/сут. Дебиты скважин составляют 3—14 л/с при понижениях уровня на 0,3—1 м.

Надмерзлотные воды пресные с минерализацией 0,1—0,15 г/л, гидрокарбонатные кальциевые, мягкие (до 1,5 мг·экв/л), содержат закисное железо и гуминовые кислоты; обладают выщелачивающей, общекислотной и углекислотной агрессивностью к бетону.

Межмерзлотные воды развиты весьма ограниченно. Чаще они встречаются в твердой фазе, в виде линз льда мощностью 0,4—0,5 м в глинах. Воды в жидкой фазе были вскрыты на глубине 12—15 м от поверхности мерзлоты. Мощность обводнениого слоя 5—7 м. Дебит скважины 0,1 л/с.

Подмерзлотные воды наиболее распространены в регионе. Это артезианские пластово-трещнинные воды мезозойских отложений, заключенные преимущественно в песчаниках, переслаивающихся с гравелитами, конгломератами, алевролитами, аргиллитами, пластами угля. Наиболее интенсивная трещиноватость и обводненность пород отмечаются до глубины 100—150 м. Коэффициенты фильтрации в этом интервале от 0,1 до 13 м/сут. Воды напорные. Величина напора возрастает от 15—30 м в верхнем горизонте, залегающем под многолетнемерзлыми породами, до 200—300 м в глубоких горизонтах. Уровень вод в долинах рек устанавливается на 1—8,5 м выше поверхности земли, на водоразделах он располагается на глубине до 50 м. Годовая амплитуда колебания уровня 2,5—9 м и зависит от режима атмосферных осадков. Дебиты скважин колеблются от 0,4 до 14 л/с при понижениях уровня на 1—35 м. При самоизливе они составляют 2—20 л/с. Удельные дебиты 0,02—2 л/с. Водопритоки в выработки на угольных месторождениях невелики. Приток в действующие штольни с 1 км выработки составляет от 3 м³/ч (в январе — мае) до 40 м³/ч (в июне — сентябре).

Подмерзлотные воды пресные с минсрализацией 0,1—0,5 г/л, гидрокарбонатные кальциевые или натриевые. От надмерзлотных вод они отличаются меньшей агрессивностью. Как правило, обнаруживают лишь углекислотные агрессивные свойства.

Современные геологические процессы и явления

Основиые геологические процессы и явления в регионе связаны с развитием мерзлоты (заболачивание, пучение, термокарст, образование наледей, солифлюкция и др.).

Заболачивание широко развито на плоских равнинных участках и охватывает площадь более 1000 км². Болота торфяные, кочковатые, местами бугристые, глубиной 2—3 м. Торфяная залежь перекрыта мхом мощностью 0,2—0,3 м. Твердое основание образовано суглинками или супесями с галькой. С конца октября болота промерзают на всю глубину, а местами с глубины 0,3—1 м находятся в мерзлом состоянии в течение всего года.

На заболоченных надпойменных террасах и пологих склонах широко развиты бугры пучения, возникновение которых связано в основном с надмерзлотными водами. Высота бугров 0,5—0,75 м, редко 2—3 м и диаметр 2—5 м. Расстояние между буграми от 30 до 200 м. На глубине 2—2,5 м под ними отмечаются многолетнемерзлые породы. Поверхность наиболее крупных бугров разбита трещинами с зиянием 0,1—1,5 м, к которым приурочены выходы подземных вод с дебитами 0,1—0,3 л/с. Многие бугры являются сезонными.

Термокарстовые явления (провальные озера и западины) развиты на плоских водоразделах рек Ургала, Чегдомына, Чемчуко и других и на надпойменных террасах, сложенных суглинистыми образованиями. Озера округлой или овальной формы, глубиной 5—7 м и площадью 1500—2000 м². Западины в виде цепочки понижений шириной от 5 до 100 м протягиваются близ водоразделов, с их южной стороны на несколько сотен метров.

На реках Ургал, Чегдомын, Чемчуко, реже на Солони и в междуречье Чегдомын—Ургал начиная с октября образуются наледи. Некоторые из них существуют в течение ряда лет. В центральной части наледи обычно бывает бугор диаметром до 10 м и высотой до 2 м. Вершина бугра рассечена трещиной, из которой выливается и тут же замерзает вода. Количество наледей после постройки железнодорожной линии Ургал — Известковая значительно увеличилось. Они проявились вблизи сооружений и земляного полотна и функционируют ежегодно с начала декабря до середины марта (наиболее интенсивно в январе). Нередко наледи выходят на железнодорожный путь, создавая опасность движению. Некоторые наледи объемом до 35 000 м³ распространены вдоль пути на 250—300 м. Толщина льда в этом случае достигает 3,4—4,95 м. По мнению Н. А. Рогозина (1958), увеличение наледей связано с разработкой выемок взрывным способом, так как при этом создаются условия для выхода на поверхность трещинных вод.

Широко развиты в регионе процессы солифлюкции. Наиболее интенсивно они проявляются в периоды дождей и сопровождаются образованием солифлюкционных террас. Особенно много таких террас на склонах пологоувалистых возвышенностей в пределах Тырминской депрессии.

Резкая континентальность климата и глубокое сезонное промерзание пород способствуют широкому развитию трещин выветривания, опускающихся до глубины 20 м, образованию каменных россыпей, возникновению оврагов, подмыву берегов и др. Наиболее интенсивно процессы подмыва берегов и оврагообразования происходят в породах терригенной молассовой формации, а также в аллювиальных отложениях. Интенсивность подмыва берегов колеблется от 0,3 до нескольких метров в год, высота образующихся при этом уступов может достигать 40 м. Удаление растительного покрова увеличивает интенсивность оврагообразования, способствует возникновению оплывин, промоин, деградации многолетней мерзлоты.

Территория сейсмична. Сила землетрясений может достигать 5 баллов.

АМУРО-ЗЕЙСКИЙ РЕГИОН

Амуро-Зейский регион охватывает обширные равнинные пространства в среднем течении р. Амура, в структурном отношении соответствующие Зее-Буреинской мезокайнозойской впадине. Большая часть региона занята возвышенными аккумулятивно-денудационными равнинами, которые в районе предгорий и на Зее-Селемджинском междуречье (Мамынский выступ) уступают место денудационно-эрозионным холмисто-увалистым низким плато. Наиболее плавные формы рельефа приурочены к восточной части, где распространена пологоволнистая или плоскоувалистая равнина абсолютной высотой 200—250 м с широкими водоразделами, ступенчато понижающимися (три крутые ступени) с северо-запада на юго-восток. Западная часть (Амуро-Зейское междуречье) более возвышенная с абсолютными высотами от 300 до 480 м. Густая глубоко врезанная овражно-балочная сеть, расчленяющая водоразделы, создает здесь сложный грядово-увалистый, плоскохолмистый рельеф с нешироκими извилистыми водоразделами. Основные реки с притоками относятся к бассейну Амура, долина которого с юга ограничивает регион. Долины широкие, заболоченные, трапецеидальные. Глубина вреза возрастает от верховьев, где она не превышает 20—30 м, к низовьям, где она достигает 80—100 м.

Значительная протяженность Амуро-Зейского региона с севера на юг сказывается на изменении климатических условий и природных ландшафтов. Обширные пространства на севере и западе охватывает таежная зона с березово-лиственничными лесами и дерново-подзолистыми почвами. В юго-восточной части, на Амуро-Зейском междуречье, распространены сосновые, дубово-сосновые леса на бурых лесных почвах. А на крайнем юго-востоκе, в низовьях р. Зеи, заходит лесостепная зона с лугово-черноземовидными почвами (см. рис. 6).

Климат муссонно-континентальный умеренный. Зимы холодные и малоснежные, мощность снежного покрова от 10 до 50 см. Средняя температура января изменяется от —24° на юго-западе до —36° на северо-востоке. Лето облачное и дождливое. Средняя температура июля изменяется от 16—19° на севере до 20—21,5° на юге. С июля до сентября выпадает 400—500 мм осадков, что составляет 75—80% их годового количества. Суровые климатические условия, маломощный снежный покров, ночные заморозки даже в июне способствуют глубокому промерзанию почвы до 4—5 м, иногда до 6 м и длительному сохранению островов многолетней мерзлоты, которые обычно приурочены к заболоченным участкам пойм и днищ ложбин в северной части региона. С севера на юг острова многолетнемерзлых пород резко сокращаются по площади и мощности. На крайнем севере мощность мерзлоты достигает 30—50 м; в центральной части — 6—12 м, к югу сокращается до 1—2 м. Вблизи Благовещенска обнаружены лишь периодически возникающие перелетки. Температура многолетнемерзлых пород минус 0,5—1°. Деятельный слой на песчаных и суглинистых грунтах 2—3 м, под моховым покровом — 20—40 см. Протаивание продолжается и осенью,

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Амуро-Зейский регион представляет собой самую крупную мезокайнозойскую впадину Дальнего Востока. Фундамент впадины имеет явно выраженное блоковое строение и сформирован разновозрастными

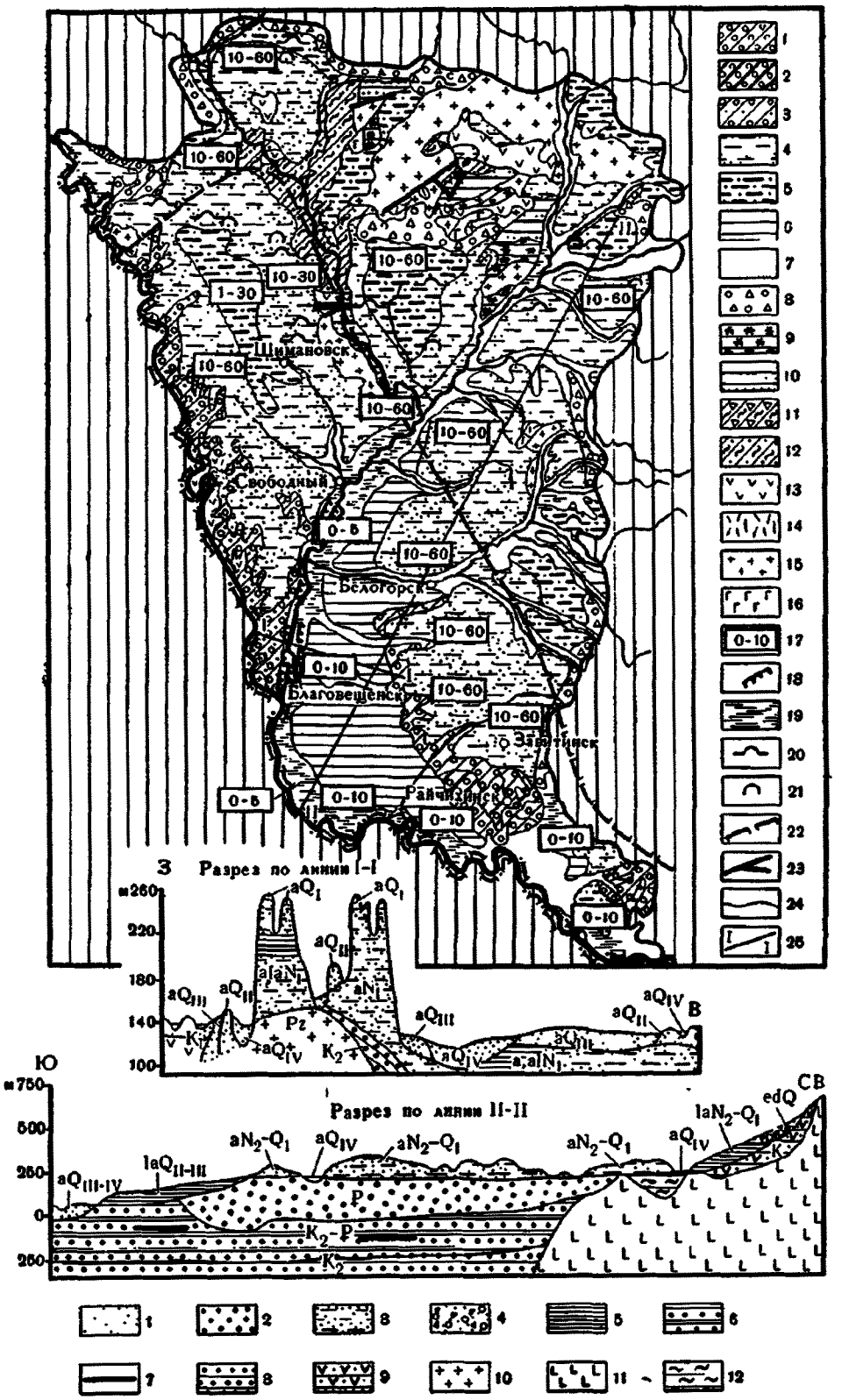


Рис. 47. Схематическая инженерно-геологическая карта Амуро-Зейского региона Формации: 1 — терригенная молассовая (K_2); 2 — угленосная (K_2—P^1); 3 — терригенная молассовая (P—N_1). Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений. Плио-

изверженными, метаморфическими и осадочными породами от протерозойских до раннемеловых включительно (рис. 47) [1]. Он глубоко погребен под чехлом более молодых образований и обнажается лишь в приподнятых блоках (валы), возвышающихся над поверхностью равнин в виде останцовых сопок. Исключение составляет Мамынский выступ, охватывающий значительную часть междуречья Зеи и Селемджи. Чехол впадины образован верхнемеловыми—кайнозойскими континентальными образованиями терригенных молассовых формаций, залегающих с размывом и угловым несогласием на более древних породах. Углы падения слоев 3—5°, с глубиной намечается некоторое увеличение их.

Терригенная молассовая формация позднего мела распространена в южной и юго-восточной частях депрессии по рекам Амур, Бурея, Архара. Она имеет трехчленное строение, связанное с цикличностью изменения условий формирования. Во время наиболее интенсивных нисходящих движений (маастрихтский век) происходило накопление грубообломочных осадков (конгломератов, грубозернистых песчаников) преимущественно дельтового и аллювиального генезиса. К началу датского века погружение замедлилось и создались условия для формирования озерно-аллювиальной толщи, представленной переслаиванием мелкозернистых песчаников, алевролитов и глин. Примерно в середине датского века в результате усиления нисходящих движений во впадине и поднятий по ее окраинам сформировалась грубообломочная толща (галечники, гравелиты, конгломераты), большей частью уничтоженная предолигоценовым размывом (Бурилина, 1959, 1965). Породы позднего мела характеризуются горизонтальной или косой однонаправленной слоистостью. Общая мощность формации колеблется от 200 до 800 м.

Песчаники полевошпатово-кварцевые, слюдистые, иногда полимиктовые или туфогенные. В низах формации распространены грубо- и крупнозернистые разности с гравием и галькой: в средней и верхней частях — средне- и мелкозернистые, нередко глинистые. Содержание фракций 0,5—0,25 мм колеблется от 9 до 16%; 0,25—0,05 мм — от 22 до 89, в среднем 85%; менее 0,05 мм — до 4, в среднем 2% (6 определений). Плотность песчаников 2,63—2,64 г/см^3; пористость 20—26% (по единичным анализам); коэффициент пористости 0,35; естественная влажность 5,3—5,8%; цемент обычно халцедоново-опаловый, в основании разреза известковистый типа заполнения пор. Встречаются песча-

[1] Породы фундамента описаны в Тукурингра-Баджальском и Хингано-Буреинском регионах.

цеи-нижнеплейстоценовые: 4 — аллювиальные (aN_2—Q_I); 5 — озерно-аллювиальные (laN_2—Q_I); 6 — средне-верхнеплейстоценовые озерно-аллювиальные (laQ_{II-III}); 7 — средне-верхнеплейстоценовые и голоценовые аллювиальные (aQ_{II-IV}); 8 — верхнеплейстоценовые и голоценовые делювиальные и аллювиально-пролювиальные (d, apQ_{III-IV}). Формации фундамента: 9 — метаморфическая (PR_1); 10 — терригенная (S_1, T_{2-3}); 11 — вулканогенно-терригенная (D_{1-2}); 12 — терригенная молассовая (J_3—K_1); 13 — андезитовая (K_1); 14 — липаритовая (K_1); 15 — гранитоидная (PZ); 16 — габбровая (PZ); 17 — глубина залегания грунтовых вод; 18 — подмыв берегов; 19 — заболоченность; 20 — пучение; 21 — термокарст; 22 — граница островной многолетней мерзлоты; 23 — разломы; 24 — границы геолого-генетических комплексов и формаций; 25 — линия геолого-литологического разреза.

Разрезы: 1 — разнозернистые пески; 2 — крупные и гравелистые пески; 3 — каолинизированные пески; 4 — гравий, галька; 5 — глины; 6 — переслаивание песков, глин; 7 — угли; 8 — переслаивание песчаников, алевролитов, аргиллитов; формации: 9 — вулканогенно-терригенная; 10 — гранитоидная; 11 — габброидная; 12 — метаморфическая

ники с цементом базального типа. В обнажениях местами видны мощные коры выветривания, где песчаники превращены в плотные пески с высоким содержанием пылеватой (24—33%) и глинистой (4—11%) фракций. Временное сопротивление сжатию песчаников колеблется от $1 \cdot 10^5$ до $300 \cdot 10^5$ Па (у наиболее плотных разновидностей). Глины каолинитовые и монотермитовые, что объясняется накоплением их в условиях жаркого климата и слабых эпейрогенических движений. Их серые с зеленым оттенком цвета указывают на восстановительные условия среды в процессе осадконакопления. Гранулометрический состав характеризуется значительной пылеватостью (34—65, в среднем 45%) и высоким содержанием песчаной (11—41, в среднем 20%) и глинистой фракций (13—24, в среднем 23%) (20 определений). Обычны включения гравия (до 3—12%). Плотность глин 2,66—2,7 г/см^3; объемная масса 1,98—2,04 г/см^3 (по единичным определениям); предел текучести 36—44; предел раскатывания 20—28 (15 образцов); число пластичности глинистых грунтов невысокое (14—18, в среднем 17). Глины очень плотные аргиллитоподобные, отличаются высокой степенью литификации и уплотнения. Сжимаемость их очень мала. В низах свиты глины переходят в алевролиты и аргиллиты.

Угленосная формация позднего мела—палеогена выполняет мульдообразные прогибы и залегает согласно на верхнемеловых осадках. В западной части впадины она несогласно перекрывает нижнемеловые туфы. Накопление осадков происходило в ряде сравнительно крупных озер, которые периодически заболачивались, что способствовало образованию восстановительных условий среды. Озера соединялись между собой реками. Все это привело к формированию ритмично переслаивающихся глин (50—60%), песков, углей (10%), реже алевролитов и аргиллитов. Мощность глинистых прослоев от 1 до 40 м, песчаных — 2—4 м. Общая мощность формации до 100 м.

Глины и суглинки образуют две пачки в нижней и верхней частях разреза мощностью от 1 до 40 м. Глины светло-серые, серые, иногда белые, в верхней пачке тонкогоризонтально-слоистые или пологоволнистые. Минералогический состав глинистой фракции каолинитовый с примесью гидрослюд или гидрослюдисто-каолинитовый. В верхней пачке встречается прослой (1—1,5 м) фисташково-серых глин бейделлитового состава с примесью монтмориллонита и иллита, образовавшихся за счет разложения пеплового материала. Емкость поглощения глин колеблется от 9 до 27 мг·экв, чаще 20 мг·экв, у бейделлитовых — до 50—70 мг·экв. Содержание органического вещества незначительное.

В центральной части депрессии преобладают глины пылеватые и тяжелые. В восточной части отмечается переслаивание тяжелых суглинков и глин с высоким содержанием песчаной фракции (до 25%), о чем свидетельствует средний гранулометрический состав.

Размер фракций, мм	Центральная часть впадины	Восточная часть (район ст. Бурея)
1—0,25	—	10
0,25—0,05	—	13
0,05—0,01	30	23
0,01—0,005	10	27
0,005—0,001	16	17
менее 0,001	40	10
число определений	20	51

В районе Тюканского месторождения доминируют глины с содержанием фракции менее 0,005 мм в среднем 39%; фракции 0,05—

0,005 мм—15%; 1—0,05 мм — 46% (30 определений). Монтмориллонитовые глины обычно тяжелые. Содержание фракции 0,005—0,001 мм у них варьирует от 8 до 40%, менее 0,001 мм — от 48 до 88% (6 определений). Пластичность невысокая, предел текучести колеблется от 27 до 42%, предел раскатывания — от 17 до 29%, число пластичности — от 12 до 24, естественная влажность — от 12 до 29%. Глины очень плотные аргиллитоподобные.

Средние значения физических свойств приведены ниже.

Предел текучести, %	34
Предел раскатывания, %	20
Число пластичности	14
Естественная влажность, %	21
Плотность, г/см³	2,68
Объемная масса скелета, г/см³	2,04
Пористость, %	30
Коэффициент пористости	0,42
Число определений	60

Сжимаемость полутвердых и тугопластичных глин при коэффициенте пористости 0,6 и более — средняя. Показатель сжимаемости $0{,}01 \cdot 10^5 — 0{,}04 \cdot 10^5$ Па; модуль общей деформации чаще $222 \cdot 10^5 — 230 \cdot 10^5$ Па.

С увеличением пористости (коэффициент пористости 0,68—0,69) модуль деформации уменьшается до $194 \cdot 10^5 — 203 \cdot 10^5$ Па (Конашинский, 1972). Сцепление глин невысокое ($0{,}45 \cdot 10^5—0{,}6 \cdot 10^5$ Па). Угол внутреннего трения колеблется в очень широких пределах (от 15 до 26, чаще 20—24°). Минимальные значения характерны для однородных наименее плотных влажных глин, максимальные — для плотных, песчаных суглинков. Пески полевошпатово-кварцевые. Формирование песков происходило в проточных озерах, что подтверждается горизонтальной прерывистой полого- или косоволнистой слоистостью. Пески характеризуются относительно хорошей сортировкой. Форма зерен угловатая, угловато-окатанная. Преобладают мелкие и пылеватые, сильноглинистые пески с незначительными прослоями песков крупных и средней крупности. Характерной особенностью является высокое (18—38%) содержание фракции менее 0,01 мм преимущественно каолинитового состава с примесью гидрослюд. Средний гранулометрический состав мелких песков в районе Кивдо-Райчихинского междуречья следующий (50 определений): фракция 0,5—0,25 мм составляет 10%; фракция 0,25—0,1 мм — 45; 0,1—0,01 мм — 7; 0,01—0,05 мм — 20; фракция менее 0,005 мм — 18%. Таким образом, в результате гипергенеза по содержанию глинистой фракции пески превращены в супеси и суглинки.

Терригенная молассовая формация палеоген-миоцена распространена повсеместно. Залегает она горизонтально на размытой поверхности более древних пород. Осадки отлагались крупными равнинными реками в относительно стабильном (тектонически) районе, в условиях теплого влажного климата.

Формация представлена линзовидно-перемежающимися косослоистыми, преимущественно белыми каолинизированными песками с примесью гравия и гальки с линзовидными горизонтами глин (3—7 м) и тонкими прослоями лигнитов. Мощности слоев от 0,2 до 1,5 м. В основании лежит базальный галечниковый горизонт. В центральной и северо-восточной частях впадины разрез более сложный и состоит из нижней глинистой толщи с пластами углей и верхней — песчаной. Общая мощность отложений от 50 до 200 м. Пески полевошпатово-кварцевые, иногда кварц-полевошпатовые. В низах они гравийные, крупные и

средние с примесью гальки и небольшими линзами галечников (русловая фация), в верхах — мелкие глинистые (пойменная фация) с косой или горизонтально-волнистой слоистостью. Зерна песчаной и гравийной фракций окатаны плохо. Гранулометрический состав песков характеризуется разнообразием, но в целом отмечается преобладание песков средней крупности с примесью гравия и гальки. Средний гранулометрический состав, по Л. В. Бурилиной (300 определений): фракция более 5 мм составляет 2%; 5—2,5 мм — 5; 2,5—1 мм — 12; 1—0,5 мм — 21; 0,5—0,25 мм — 25; 0,25—0,1 мм — 18; 0,1—0,01 мм — 7; менее 0,1 мм — 10%. Фракция менее 0,01 мм каолинит-гидрослюдистого состава; содержание ее увеличивается сверху вниз от долей процента до 20—25%. В мелких песках примесь каолинового материала достигает 35%, в средних — 20—25%, в гравелистых песках и галечниках — 10—12, чаще 3—5%. Естественная влажность песков 8—15% (10 определений). Объемная масса песков 1,93—2,08 г/см^3; объемная масса скелета 1,71—1,79, у мелких песков — 1,62—1,63, у пылеватых — 1,81 г/см^3. Пористость песков 23—35%, у мелких песков до 39%; коэффициент пористости 0,3—0,54, у мелких песков до 0,64. Угол внутреннего трения 40°. Модуль общей деформации $400 \cdot 10^5$ Па (по единичным опалузам). Глины старичной фации серые, светло-коричневые, черные углистые с включением конкреций сидеритов (до 10 см). Минералогический состав глинистой фракции монотермитовый с примесью каолинита и гидрослюд; по К. П. Караванову (1968), гидрослюдисто-каолинитовый. Текстура горизонтально-слоистая и неслоистая. Органического вещества содержится до 10—11%, у углистых глин — до 15—16%. Гранулометрический состав отличается высокой пылеватостью 40—70% (33 образца). Колнчество фракции менее 0,005 мм варьирует от 30 до 72, в среднем 40%. В составе глинистой фракции доминирует фракция менее 0,001 мм (в среднем 30%). Пластичность глин невысокая, число пластичности колеблется от 11 до 25%, в среднем 18% (33 образца). В толще глин встречаются песчаные суглинки (фракции 1—0,05 мм, в среднем 15%), чаще тяжелые с содержанием глинистой фракции 12—25, в среднем 23%. Физические свойства указывают на высокую степень уплотнения и дегидратизации. Плотность глин 2,57—2,74, в среднем 2,64 г/см^3; объемная масса 1,98—2,22, в среднем 2,01 г/см^3; объемная масса скелета 1,6—1,8, в среднем 1,62 г/см^3, пористость 33—40, в среднем 35%; коэффициент пористости 0,38—0,68; естественная влажность колеблется от 18 до 28% (50 определений). Естественная влажность глин меньше границы раскатывания (22%). Консистенция твердая и полутвердая. Показатель консистенции 0—0,23. В зоне выветривания естественная влажность возрастает до 38%; объемная масса уменьшается до 1,79 г/см^3; объемная масса скелета до 1,35 г/см^3. Сцепление невысокое ($0{,}35 \cdot 10^5$ — $0{,}5 \cdot 10^5$ Па). Угол внутреннего трения 23—29°. Модуль общей деформации $186 \cdot 10^5$ — $220 \cdot 10^5$ Па.

Аллювиальные и озерно-аллювиальные плиоцен-нижнеплейстоценовые отложения залегают с размывом на миоценовых осадках; по окраинам впадины — на породах фундамента. Осадки формировались в условиях спокойного течения равнинных рек, часто менявших положения своих русел, в эпоху умеренно теплого, умеренно влажного климата. Это в основном косослоистые пески с высоким содержанием гравия и гальки. Органические остатки встречаются очень редко. В основании четко выделяется галечниковый базальный горизонт мощностью 0,5—1,5 мм. С поверхности распространены суглинки и глины мощностью от 1,5 до 13 м.

Пески в нижней части разреза (фация главных русел) гравелистые

и крупные с линзами галечников и линзовидной косой слоистостью, в верхней—средние и мелкие с горизонтальной, косой, реже диагональной слоистостью. Минералогический состав песков полевошпатово (30%)-кварцевый (60%), слюдистый. Для всей толщи характерно ожелезнение, которое на отдельных участках настолько велико, что образуются железистые песчаники. В целом сортировка песков плохая, окатанность слабая. Средний гранулометрический состав, по Л. В. Бурилиной (100 анализов), следующий: фракции более 1 мм содержится 11%; 1—0,5 мм—23; 0,5—0,25 мм—20; 0,25—0,1 мм—23; 0,1—0,01 мм — 9; 0,01 0,005 мм — 14; менее 0,005 мм — 3—6%. Плотность песков 2,65—2,66 г/см^3; объемная масса скелета крупных песков 1,83—1,87 г/см^3, средней крупности — 1,6—1,83, мелких — 1,43—1,5 г/см^3; пористость соответственно 30—32%, 31—42, 37—46%; коэффициент пористости соответственно 0,43—0,47; 0,46—0,72; 0,59—0,85. Угол естественного откоса в сухом состоянии 33—36°, под водой — 26—32°.

Глины и суглинки нередко сланцеватые, встречаются как с поверхности, так и в виде линз и прослоев в толще песков. Глины серовато-коричневые, реже серые и охристо-бурые. Минералогический состав глинистой фракции гидрослюдисто-бейделлитовый. Гранулометрический состав отличается большой изменчивостью. Наряду с сильнопесчанистыми (фракции 0,25—0,05 мм до 20—35%) средними и тяжелыми суглинками (пойменная фация) распространены озерные пылеватые и тяжелые глины. Чаще встречаются тяжелые глины. Их средний гранулометрический состав (15 образцов) следующий: фракции 0,1—0,05 мм содержится 5%; 0,05—0,005 мм — 35; менее 0,005 мм — 60%. Число пластичности тяжелых глин в среднем 28, пылеватых глин — 18, суглинков — 14 (70 образцов). Естественная влажность близка к нижнему пределу пластичности, что говорит о полутвердой консистенции. В районе развития верховодки естественная влажность возрастает до 31%, консистенция изменяется на тугопластичную и пластичную. Физические свойства глин и суглинков района Благовещенска и Белогорска указывают на значительное уплотнение глин.

	Белогорск	Благовещенск
Плотность, г/см^3	2,7	2,62
Объемная масса, г/см^3	1,95	2,0
Объемная масса скелета, г/см^3 .	1,54	1,53
Пористость, %	40	41
Коэффициент пористости . . .	0,68	0,7
Естественная влажность, % . .	24	23
Количество образцов	27	72

Коэффициенты сжимаемости глин (20 образцов) при нагрузке 30 Н/см^2 составляют $0{,}006 \cdot 10^{-5} - 0{,}013 \cdot 10^{-5}$ Па$^{-1}$; модуль деформации $130 \cdot 10^5 - 272 \cdot 10^5$, чаще $180 \cdot 10^5$ Па. Угол внутреннего трения 14—24° (20 определений); сцепление $0{,}5 \cdot 10^5 - 1{,}2 \cdot 10^5$ Па.

Аллювиально-озерные средне-верхнеплейстоценовые отложения покрывают с поверхности I и II надпойменные террасы Амура и Зеи. Осадконакопление их происходило, вероятно, в условиях неглубоких пресноводных политрофных приречных озер в умеренно холодном климате. В составе доминируют глины с прослоями суглинков и песков. Мощность изменяется от 2 до 14 м, преобладает 6—7 м. Глины бурожелтые, глубже 3 м серые и темно-серые. Гранулометрический состав указывает на значительную их пылеватость (пыли 40—54%). Количество глинистой фракции в среднем 40—45% (300 определений). Содержание фракции 0,25—0,05 мм колеблется от 0 до 20, в среднем 12%.

Пластичность довольно высокая. Число пластичности равно 20—24. Естественная влажность колеблется от 21 до 32%. Минимальные ее значения обычно приурочены к среднеплейстоценовым глинам, слагающим II надпойменную террасу. В связи с этим в их составе чаще встречаются тугопластичные глины (средний показатель консистенции 0,4). У верхнеплейстоценовых глин естественная влажность выше, в среднем 28% (показатель консистенции 0,5). Максимальные значения влажности (свыше 30%) приурочены к заболоченным понижениям и участкам, близким к водоносным горизонтам. Глины среднеуплотнены (пористость 41—44%). Как правило, минимальные значения пористости наблюдаются у среднеплейстоценовых глин и в основании отложений. Коэффициент сжимаемости глин $0{,}01 \cdot 10^{-5} — 0{,}03 \cdot 10^{-5}$ Па$^{-1}$.

Физические свойства средне-верхнеплейстоценовых аллювиально-озерных глин приведены ниже.

	Район ст. Архара	Район Амура (устье Зеи)
Плотность, г/см^3	2,75	2,74
Объемная масса, г/см^3	1,88	1,92
Объемная масса скелета, г/см^3 .	1,5	1,58
Пористость, %	44	41
Коэффициент пористости . . .	0,8	0,75
Естественная влажность, % . .	28	24
Количество образцов	25	50

Аллювиальные средне-верхнеплейстоценовые и голоценовые отложения слагают поймы и I—V надпойменные террасы рек Амура, Зеи, Селемджи, Томи и их притоков. Для аллювия характерна литологическая и фациальная изменчивость по простиранию и в разрезе. Профиль отложений, как правило, двучленный, на пойме иногда трехчленный. В составе аллювия доминируют пески. В рассеянном виде в них присутствуют гравий и галька, которые в низах разреза образуют прослои и линзы мощностью от 0,4 до 5 м (в верховьях). С поверхности встречаются маломощные горизонты (0,3—2 м) пойменных суглинков и глин. Общая мощность аллювия колеблется от 3 до 50, чаще 10—15 м.

Галечники обычно с косослоистой текстурой. Галька составляет 50—60% объема, хорошо и среднеокатанная. Петрографический состав характеризуется преобладанием кварца, кремнистых пород, реже кислых эффузивов и гранитов. Галька позднеплейстоценового и голоценового возраста свежая, невыветрелая. Степень выветривания галечников среднего плейстоцена более высокая. Наиболее выветрелая галька эффузивов и гранитов. Гранулометрический состав отличается неоднородностью. Преобладает мелкая галька диаметром от 1 до 5 см (30—50%). Значительный процент (чаще 15—40%) приходится на гравийную фракцию. В верховьях встречаются валуны (6—35%). Содержание песчаного заполнителя варьирует в широких пределах (от 4 до 49%). Заполнителем обычно служит гравелистый, иногда крупный песок. Благодаря неоднородности состава сложение галечников в естественном залегании плотное. По единичным анализам плотность 2,67—2,72 г/см^3; объемная масса (выше уровня грунтовых вод) 2—2,05 г/см^3; объемная масса скелета 1,95—2 г/см^3; пористость 26%, коэффициент пористости 0,24%. В районе высокой поймы отмечаются интенсивное ожелезнение и цементация галечников. Пески кварцевые и полевошпатово-кварцевые, реже полимиктовые. В нижней части разреза доминируют гравелистые и крупные пески с ясно выраженной косой диаго-

нальной слоистостью, иногда неясно выраженной линзовидной. В верхах преобладают мелкие пески с линзами песков средней крупности. Текстура их мелкогоризонтально-слоистая, иногда линзовидно-перемежающаяся. В низовьях рек Зеи и Томи мелкие пески составляют 50—90% всего разреза. Цвет песков меняется снизу вверх от серых до желтых и коричневато-охристых.

Для гранулометрического состава гравелистых песков средне-позднеплейстоценового возраста в низовьях рек Зеи и Селемджи характерно высокое содержание фракции 10—2 мм, как правило, в пределах 28—40% (55 образцов); фракции 2—1 мм содержится 23—31%; 1—0,5 мм — 8—14%; 0,5—0,25 мм — 12—23%; 0,25—0,05 мм — 4—9%; фракции менее 0,05 мм содержится от 0 до 8%. У этих же песков голоценового возраста содержание гравия не превышает 10—22%; возрастает количество фракций 1—0,05 мм до 29—51% (10 образцов); содержание фракции 0,5 — 0,25 мм колеблется от 9 до 35%; 0,25—0,05 мм — от 0 до 10%; менее 0,05 мм — от 4 до 20%. Для крупных песков голоцена типично преобладание фракций 1—0,5 и 0,5—0,25 мм, в среднем по 40% каждой. У песков средней крупности фракция 0,5—0,25 мм составляет 40—60%; фракция 0,25—0,05 мм — 10—45%. У мелких песков на фракцию 0,25—0,05 мм приходится 60—90%. Содержание пылеватой и глинистой фракций очень незначительно. Только у верхнеплейстоценовых и голоценовых песков отмечается некоторое увеличение глинистости, что характерно и для низов разреза. Естественная влажность песков низкая (2—8%, реже 12—17%). С приближением к водоносному горизонту она возрастает до 23—38%. Плотность песков колеблется в очень широких пределах (от 2,63 до 2,71 г/см^3). Колебания минералогического, гранулометрического состава приводят к большому диапазону значений объемной массы (от 1,44 до 2,08 г/см^3) и пористости — от 28 до 47%. Наиболее высокие значения объемной массы и наименьшая пористость характерны для гравелистых и крупных песков (табл. 50). У песков близкого гранулометрического состава изменение пористости происходит с изменением возраста. Сложение голоценовых и верхнеплейстоценовых песков чаще рыхлое, у среднеплейстоценовых оно средней плотности. Угол естественного откоса песков в сухом состоянии колеблется в зависимости от гранулометрического состава от 33 до 42°, под водой — от 23 до 38°. Максимальные значения характерны для гравелистых песков, минимальные — для мелких песков и средней крупности. Коэффициент сжимаемости мелких песков средней плотности и рыхлых изменяется от $0{,}01 \cdot 10^{-5}$ до $0{,}16 \cdot 10^{-5}$ Па$^{-1}$. Модуль общей деформации зависит от плотности и состава песков. Его минимальные значения ($50 \cdot 10^5$ — $100 \cdot 10^5$ Па) отмечаются у рыхлых средней крупности и крупных песков; максимальные значения ($400 \cdot 10^5$ — $500 \cdot 10^5$ Па) характерны для плотных песков средней крупности. У песков средней плотности модуль деформации $150 \cdot 10^5$ — $275 \cdot 10^5$ Па. Угол внутреннего трения чаще 31—37°. Сцепление не превышает $0{,}05 \cdot 10^5$ — $0{,}07 \cdot 10^5$ Па.

Суглинки, реже глины пойменной фации, серые, охристые, коричневато-бурые встречаются с поверхности и в виде маломощных линз в толще песков. Минералогический состав глинистой фракции гидрослюдистый с примесью бейделлита и монтмориллонита. Содержание последних особенно велико в голоценовых отложениях. Количество органического вещества здесь составляет 2—10%. Для гранулометрического состава характерно высокое содержание песчаной фракции, среди которой значительный процент (10—25%) приходится на фракцию 0,5—0,25 мм. Содержание фракции менее 0,005 мм варьирует от 10 до

Таблица 50

Физические свойства аллювиальных песков

Местоположение, геологический индекс	Плотность, г/см³	Объемная масса, г/см³	Объемная масса скелета, г/см³	Пористость, %	Коэффициент пористости	Количество образцов
Крупные и гравелистые						
Долина р. Кивда у г. Райчихинск, aQ_{II-III}	2,63	2,08	1,88	28	0,38	12
Средней крупности						
Левобережье Амура в восточной части депрессии, aQ_{II-III}	2,65	1,59	1,5	43	0,78	39
Низовье р. Зеи, aQ_{III-IV} . .	2,66	1,57	1,48	44	0,82	29
Мелкие						
Низовья р. Зеи, aQ_{II} . . .	2,71	1,78	1,66	30	0,47	17
То же, aQ_{III}	2,69	1,6	1,5	42	0,74	8
Амур, Благовещенск, aQ_{III-IV}	2,65	1,44	1,37	45	0,84	10
Левобережье Амура в восточной части депрессии, aQ_{IV}	2,67	1,52	1,43	46	0,85	9
Верховья р. Зеи, aQ_{IV} . .	2,66	1,46	1,39	47	0,9	9

36, чаще 15—27%, т. е. доминируют средние и тяжелые суглинки. Плотность колеблется от 2,6 до 2,75 г/см³ (300 образцов). Только на пойме встречаются оторфованные суглинки, у которых плотность уменьшается до 2,58 г/см³. Естественная влажность среднеплейстоценовых суглинков чаще 13—20%; верхнеплейстоценовых — 23—27, голоценовых — 27—38%. Соответственно показатель консистенции 0,1—0,25; 0,2—0,5 и 0,5—0,7. Пористость глинистых отложений зависит от литологии и условий формирования (табл. 51); наиболее часто встречаются суглинки с объемной массой 1,93—2 г/см³, пористостью 40—43% (фация внутренней поймы).

При нагрузке 30 Н/см² коэффициент сжимаемости составляет $0{,}011 \cdot 10^{-5} — 0{,}022 \cdot 10^{-5}$, в среднем $0{,}018 \cdot 10^{-5}$ Па$^{-1}$ (50 определений). Модуль общей деформации $30 \cdot 10^5 — 80 \cdot 10^5$ Па. Неоднородность вещественного состава и состояния суглинков приводит к значительным колебаниям углов внутреннего трения (от 15 до 26, чаще 20—22°). Сцепление обычно невысокое ($0{,}17 \cdot 10^5$—$0{,}45 \cdot 10^5$ Па). Сдвигающее усилие $1 \cdot 10^5$—$1{,}75 \cdot 10^5$ Па. Углы внутреннего трения и сцепления тесно взаимосвязаны с пористостью и влажностью глинистых грунтов. Минимальные значения угла внутреннего трения (14—16°) характерны для глин влажностью 25—30% и коэффициентом пористости 0,8—1,1. Максимальные значения (22—24°) наблюдаются у полутвердых, плотных суглинков при естественной влажности 12—18% и коэффициенте пористости 0,4—0,6. У суглинков с естественной влажностью 18—24% и коэффициенте пористости 0,5—0,7 он составляет 19—21°.

Элювиально-делювиальные и аллювиально-пролювиальные нерасчлененные четвертичные отложения широко распространены на Зее-

Таблица 51

Физические свойства аллювиальных глинистых грунтов

Породы	Объемная масса, г/см³	Объемная масса скелета, г/см³	Пористость, %	Коэффициент пористости	Естественная влажность, %	Показатель консистенции	Число определений
Приусловая пойма							
Суглинки легкие, сильнопесчанистые, полутвердые (число пластичности 7—9)	2,13	1,82	35	0,48	17	0,1	40
Внутренняя пойма							
Суглинки средние, песчанистые тугопластичные (число пластичности 9—11) . .	2,01	1,63	40,5	0,67	24	0,3	150
Суглинки тяжелые пылеватые, тугопластичные и пластичные	1,93	1,55	43,5	0,75	29	0,45	50
Старица							
Суглинки заторфованные пластичные . .	1,8	1,3	49	0,96	32	0,7	10
Глина оторфованная пластичная	1,65	1,25	53	1,15	42	0,7	15
III терраса р. Зеи							
Суглинки тугопластичные	1,99	1,59	—	0,63	24	0,3	20
IV—V террасы р. Зеи							
Суглинки полутвердые	2,02	1,7	—	0,54	19	0,2	25

Селемджинском междуречье (Мамынский выступ) и в районе предгорий. Мощность, литология осадков находятся в тесной взаимосвязи с рельефом и подстилающими породами. На плоских или волнистых водоразделах мощность не превышает 5—6 м, в нижней части склонов достигает 10—15 м.

Гидрогеологические условия

В гидрогеологическом отношении регион представляет межгорный артезианский бассейн наложенной мезокайнозойской впадины, в чехле которого выделяются два этажа: нижний (мезозойский), содержащий артезианские, в основном пластово-трещинные воды, и верхний (кайнозойский) с грунтовыми и артезианскими пластово-поровыми водами.

Грунтовые воды приурочны в основном к плиоцен-четвертичным, местами к миоценовым отложениям песчано-гравийно-галечникового состава. Они образуют горизонт мощностью от 10—30 на периферии бассейна до 200 м в его центральной части. Подошвой горизонта служат глины палеоген-миоценового возраста или более древние породы. В кровле присутствует прерывистый глинистый водоупор мощностью от 3 до 20 м. Глубина залегания вод в пределах речных долин от 0,5—8 на поймах до 23—25 м у бровок надпойменных террас. На междуречных пространствах она колеблется от 10 до 60 м. Уровень вод

обычно свободный, местами обладает слабым напором (3—6 м). Годовая амплитуда колебания уровня на поймах 3—6,5 м, на остальной площади бассейна не превышает 1—1,2 м. Наиболее значительные подъемы уровней происходят в периоды летних паводков. При этом на поймах уровень вод часто достигает поверхности земли, что способствует интенсивному их заболачиванию.

Водообильность горизонта высокая. Коэффициенты фильтрации гравийно-галечниковых отложений 50—110 м/сут, разнозернистых песков с галькой и гравием — 5—25 м/сут, мелкозернистых и глинистых песков — 0,4—4 м/сут. Наиболее часто скважины дают дебиты 2—8 л/с при понижениях уровня на 1—8 м. Максимальные дебиты (20—25 л/с) отмечаются в гравийно-галечниковых отложениях, в мелкозернистых песках они не превышают 0,5 л/с. Удельные дебиты варьируют от сотых долей до 11 л/с, чаще они составляют 0,5—1 л/с.

Воды пресные, гидрокарбонатные кальциевые, кальциево-натриевые или смешанные по катионному составу. Минерализация их возрастает от водоразделов к речным долинам от 0,05 до 0,3 г/л. Более значительное повышение минерализации (до 0,8 г/л) происходит лишь на участках современного бытового загрязнения. Почти повсеместно в воде содержится закисное железо (до 5 мг/л) и окисное (до 2 мг/л). Воды обладают углекислотными агрессивными свойствами. Выщелачивающая агрессивность проявляется, как правило, на междуречьях и лишь иногда — при минерализации менее 120 мг/л — в пределах долин. При общем преобладании слабокислых и нейтральных вод на отдельных участках отмечается небольшое повышение концентрации водородных ионов (pH 6—6,4), обусловливающее появление слабой общекислотной агрессивности вод.

Артезианские воды бассейна приурочены к палеоген-миоценовым и мезозойским породам, в которых образуют многочисленные невыдержанные по простиранию горизонты. Мощности водоносных горизонтов и разделяющих их глинистых водоупоров колеблются от 1 до 20 м. Верхний горизонт залегает на глубине от 10—30 м в периферических частях бассейна до 170—230 м в центральных. Величина напора от 10 до 130 м. Пьезометрический уровень большей частью устанавливается на глубине 2—35 м от поверхности земли. Иногда скважины самоизливаются с высотой самоизлива 2—9 м.

Обводненность кайнозойских напорных горизонтов в целом невысокая. Коэффициенты фильтрации водоносных пород 0,5—22 м/сут. Дебиты скважин колеблются от 0,1 до 10 л/с при понижениях уровня на 2—25 м, удельные дебиты не превышают 0,6 л/с. Притоки воды в штольни и карьеры Кивдо-Райчихинского буроугольного месторождения достигают всего 3—15 л/с. Водообильность кайнозойских пород уменьшается в направлении от центра бассейна к предгорьям в связи с увеличением в их составе содержания каолинита.

Для мезозойских пород характерны сокращение с глубиной количества водоносных прослоев, уменьшение их пористости и падение водообильности. Дебиты скважин, вскрывших верхние мезозойские горизонты, составляют преимущественно 1—8 л/с, иногда до 20 л/с при понижениях уровня на 2—10 м, удельные дебиты 0,5—3 л/с. С глубины 400—500 м они уменьшаются в 10—100 раз.

Артезианские воды до глубины 1000 м пресные гидрокарбонатные кальциевые, натриевые или кальциево-натриевые, ниже слабосолоноватые, гидрокарбонатно-хлоридные натриевые, преимущественно неагрессивные. Лишь воды кайнозойского этажа бассейна иногда проявляют слабые углекислотные агрессивные свойства.

Современные геологические процессы и явления

Амуро-Зейская впадина, протянувшаяся с юга на север через три природные зоны с различными климатическими, мерзлотными условиями, характеризуется развитием разнообразных геологических процессов.

Наиболее широким распространением пользуются мерзлотные процессы, связанные как с наличием островов многолетней мерзлоты в северной части впадины, так и с глубоким сезонным промерзанием грунтов (до 4—5 м, иногда 6 м). Широко развито пучение. Бугры пучения приурочены чаще к прирусловой полосе днищ падей и долин рек. Они вытянутой куполообразной формы и протягиваются параллельно руслу. Наибольшую опасность они представляют для полотна железных дорог. На сравнительно пологих склонах с плащом пылеватых суглинков наблюдается солифлюкция. Процессы солифлюкции наиболее интенсивны в июле -августе, в дождливый период. В днищах долин, падей и неглубоких эрозионных ложбинах широко развиты наледи, которые образуются за счет надмерзлотных вод в начале и середине зимы и сохраняются до июня, начала июля.

Не менее интенсивно в пределах региона протекают эрозионные процессы, вызывающие развитие оврагов. Способствуют развитию овражной эрозии распространение легкоразмываемых песчаных грунтов, вырубка леса, распашка равнин. Глубина оврагов в среднем 3—5 м. Особенно активно развитие оврагов происходит в летнее время (за один летний дождь средней интенсивности овраг удлиняется на 50—70 см). При катастрофических ливнях овраги вырастают на 2 м и более. Широкое развитие овражной сети сильно осложняет все виды строительства.

Оползни пользуются ограниченным распространением и приурочены к породам песчано-алевритo-сланцевого состава, в меньшей степени — к рыхлым песчано-глинистым отложениям.

В днищах долин широко развит процесс заболачивания. В лесостепной зоне преобладают низинные болота, которые встречаются на поймах и террасах Амура, Зеи и Селемджи. Формирование болот здесь происходит в основном в результате зарастания небольших пойменных озер. Глубина их не превышает 1,5—3 м. В северной части, в днищах долин притоков, ложбин, развиты сфагновые болота, формированию которых способствует развитие многолетнемерзлых пород с небольшой глубины. Болота эти неглубокие (до 0,5 м, редко более) с неразложившимся торфом.

ВЕРХНЕ-ЗЕЙСКИЙ РЕГИОН

Регион расположен в пределах Верхне-Зейской равнины, в структурном отношении представляющей мезокайнозойскую впадину. Равнина возвышенная плоскоувалистая аккумулятивно-денудационная. Наименьшие абсолютные высоты (250—300 м) приурочены к ее юго-западной части. К северу и северо-западу происходит постепенное повышение до 500 м, иногда 600—700 м. Для микрорельефа поверхности равнины характерно широкое развитие небольших термокарстовых озер и бугров пучения. Поверхность равнины расчленена неглубокой (глубина вреза до 50—100 м), но довольно густой эрозионной сетью. Прижимаясь к западному и северному краям впадины, протекает р. Зея

в ее верхнем течении, ее левые притоки, стекающие с хребтов Сокта-хан и Джагды, расчленяют равнину.

Территория расположена в зоне северной тайги с редкостойными лиственничными, березово-лиственничными, нередко заболоченными лесами. В долинах и на плоских водоразделах распространены сфагновые неглубокие (0,4—0,6 м) бугристые болота с редкой лиственницей. В почвенном покрове преобладают болотные и полуболотные мерзлотные разновидности.

Климат умеренно холодный, находится под влиянием восточноазиатского муссона. Однако удаленность от океана и близость громадных пространств Азиатского материка придают ему черты континентальности. Зима очень суровая и малоснежная. Средняя суточная температура с начала декабря до начала февраля —25°, минимальная достигает минус 50°. Мощность снежного покрова 20—40 мм. Лето довольно прохладное, дождливое. Среднемесячная температура июля +18,2°, сентября +8,7. Период со среднесуточной температурой +10° длится не более двух месяцев. Основное количество осадков (450—500 мм) выпадает в летние месяцы, в зимние их только 34—50 мм. Холодный климат способствует сохранению многолетней мерзлоты, которая в пределах депрессии распространена повсеместно (лишь на отдельных участках встречаются талики). Мощность мерзлоты достигает 100 м. Под торфяным слоем она залегает с глубины 0,5 м, на дренированных водоразделах — с глубины 1,5—2 м.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Верхне-Зейский регион представляет собой мезокайнозойскую впадину, выполненную преимущественно континентальными рыхлыми осадками позднемелового и кайнозойского возраста (терригенная молассовая формация) мощностью в несколько сотен метров (рис. 48). Породы залегают горизонтально, с небольшим наклоном пластов (порядка 6—8°) к северу, северо-западу и северо-востоку; вблизи разломов углы падения достигают 20—30°. Южная граница депрессии, по-видимому, носит характер регионального разлома. По геофизическим данным, структура погребенной юго-западной части депрессии имеет вид трехступенчатого грабена со ступенями на глубине 30—40 м, 120—130 и 200—210 м.

Терригенная молассовая формация позднего мела-палеогена выполняет грабеноподобные понижения, перекрывая с резким угловым несогласием все более древние породы. В юго-западной части депрессии она выходит на поверхность. Формирование осадков происходило в условиях субтропического климата в ряде мелких и крупных озер, которые соединялись реками. Озера периодически заболачивались, что способствовало образованию восстановительных условий среды.

Формация представлена глинами с редкими включениями гравия и гальки, с прослоями песков и лигнитов в верхней части разреза. В основании лежит пласт базального серого песка мощностью до 15 м с разнообразной по размеру галькой гнейсов, роговиков, кварцитов и кварца. Вблизи зоны молодых разломов наблюдается резкое уплотнение пород. В основании разреза здесь распространены аргиллиты, алевролиты, рассланцованные глины и тонкопесчано-илисто-глинистые уплотненные породы с прослоями лигнитов. Общая мощность формации

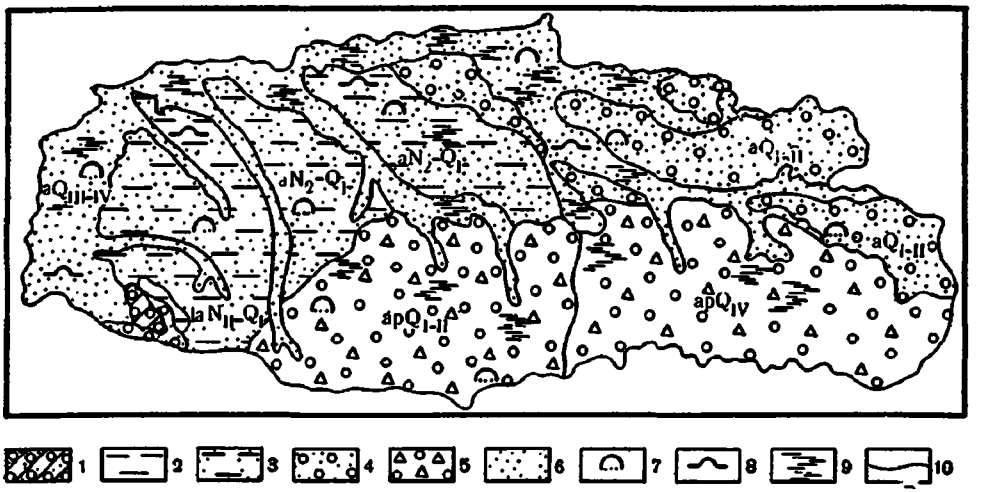


Рис. 48. Схематическая инженерно-геологическая карта Верхне-Зейского региона.

Формации: 1 — терригенная молассовая (K_2—P). Геолого-генетические комплексы: 2—3 — плиоцен-нижнеплейстоценовые соответственно: озерно-аллювиальные (laN_2—Q_I) и аллювиальные (aN_2—Q_I); 4 — нижне-среднеплейстоценовые аллювиальные (aQ_{I-II}); 5 — нижне-среднеплейстоценовые и голоценовые аллювиально-пролювиальные (apQ_{I-II}, apQ_{IV}); 6 — средне-верхнеплейстоценовые и голоценовые аллювиальные (aQ_{II-IV}). Физико-геологические явления: 7 — термокарст; 8 — пучение; 9 — заболоченность; 10 — границы геолого-генетических комплексов и формаций

200—250 м. Глины темно-серые, зеленовато-серые, иногда черные, уплотненные или рассланцованные, с включениями гравия и гальки кварца. Характерно высокое содержание фракций мелкого и среднего песка и растительных остатков в виде обуглившихся, часто деформированных обломков древесины. Пески кварц-полевошпатовые, иногда кварцевые от гравелистых до мелких. Чаще встречаются пески средней крупности и мелкие каолинизированные глинистые. В них нередко встречаются включения гальки преимущественно кварцевого состава, количество которой возрастает в верхах разреза. Галька гранитов, гнейсов, роговиков и зерна полевого шпата сильно разрушены.

Аллювиальные и озерно-аллювиальные неоген-раннеплейстоценовые отложения пользуются широким распространением, слагая поверхности водоразделов. В южной части, вблизи хр. Джагды, аллювий перекрыт отложениями предгорных шлейфов. Осадки формировались в условиях теплого и влажного климата, густой растительности на фоне продолжавшегося погружения и представлены переслаиванием песков, глин с прослоями бурых углей. Мощность прослоев песков 3—8 м, глин — от нескольких сантиметров до 9 м. Общая мощность 160—240 м. В верхах разрезов отмечаются прослои и линзы галечников. Вблизи хр. Джагды в составе отложений резко возрастает содержание валунно-галечникового материала. Нижняя часть разреза представлена переслаиванием валунников, галечников, сильно каолинизированных песков; средняя — чередованием галечников и серых каолинизированных песков; верхняя — прослоями глин мощностью 0,6—1 м, песков, галечников с валунами, с прослоями темных илов и бурых углей.

Пески нижней части разреза горизонтально-слоистые, иногда слегка волнистые, белые, существенно кварцевые (54—82%) с высокой примесью сильновыветрелого полевого шпата. Преобладают пески круп-

ные и средней крупности, сильно пылеватые со значительной примесью каолинита (до 15—28%). В виде включений встречается галька диаметром 3—4 см и преимущественно кварцевый гравий. Количество их обычно составляет 6—13%, иногда и более. Средний гранулометрический состав следующий (50 определений): фракция более 5 м — 5%; 5—2 мм — 8%; 2—1 мм — 9%; 1—0,5 мм — 38%; 0,5—0,25 мм — 18%; 0,25 — 0,1 мм — 10%; менее 0,1 мм — 12%. Пески верхней части разреза косо- и диагонально-слоистые, линзовидно-перемежающиеся кварц-полевошпатовые, желтые, серовато-желтые. Крупность песков закономерно изменяется снизу вверх от мелких до средней крупности и крупных, часто гравелистых с включениями мелкой кварцевой гальки. Доминируют мелкие пылеватые, глинистые пески плотностью 2,61—2,69 г/см³, объемной массой скелета 1,28—1,4 г/см³ (10 определений). С глубиной отмечается уменьшение пористости песков, а в низах разреза пески переходят в слабо сцементированные песчаники.

Галечники диагонально-слоистые. Галька различного петрографического состава: кварц, порфириты, кварциты, габбро-диабазы, реже граниты и гранитогнейсы (вблизи хр. Джагды кварц преобладает). Характерно непостоянство состава как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Преобладает мелкая и средняя хорошо окатанная галька диаметром 2,5—7 см (50%), но встречаются и прослои крупных галечников с валунами. Общее содержание гравийно-галечного материала 70—90%. Заполнитель гравелистый или крупный песок с высоким (более 4%) содержанием глинистой фракции. В верхней части разреза галечники интенсивно ожелезнены. Сильное ожелезнение на отдельных участках цементирует гальку, превращая ее в слабый конгломерат, пористость обычно незначительная. Объемная масса в естественном сложении 2,52—2,64 г/см³, в насыпном — 1,6—1,7 г/см³. Степень выветривания гальки, за исключением кварцевой, очень высокая. Потери в весе при испытании на морозостойкость при 25 циклах составляют 5—9%, при 50 циклах — 13—17%. Износ в барабане Деваля достигает 36—54%.

Глины и суглинки залегают чаще вблизи поверхности в виде линз мощностью до 3 м, иногда достигают 9 м. Цвета их самые различные: белые, розовые, темно-серые, ярко-желтые, фиолетовые, черные, чаще неравномерно окрашенные желтые. Текстура листовато-сланцевая. Минералогический состав глинистой фракции каолинитово-гидрослюдистый или каолинит-монотермитовый. Для гранулометрического состава характерно высокое содержание песчаной фракции (до 30—50%). Количество фракции менее 0,005 мм колеблется от 20 до 42%. Фракции менее 0,001 мм от 16 до 29%. Характерна высокая пылеватость глинистых осадков (40—60%). Глины и суглинки сильно слюдистые. Встречаются включения гальки и гравия диаметром 3—5 см. Целой сохранилась только галька кварца — галька других пород сильновыветрелая до состояния глины. Число пластичности (6 определений) колеблется от 13 до 22. Пористость глин очень низкая.

Аллювиальные нижне-среднеплейстоценовые отложения слагают плоские водоразделы рек Арги и Зеи в северо-восточной части депрессии. Осадки отлагались полугорными реками в период интенсивного поднятия хребтов Соктахан и Джагды. Климатические условия не оставались постоянными. Умеренный климат раннеплейстоценового времени сменился умеренно холодным с развитием лиственнично-березово-еловой тайги. Толща представлена чередованием песков и галечников с линзами супесей и глин. Общая мощность 100—150 м. Мощность песчаных слоев от 6 до 30 м, галечников — 0,4—3,7 м.

Пески аркозовые или полимиктовые серого и желтого цвета. Текстура их косо-диагонально-слоистая, в верхней части — горизонтально-слоистая. Характерно переслаивание мелких, средних и крупных песков. Чаще встречаются пески средней крупности и крупные с включениями от 0,5 до 20% мелкой гальки и гравия диаметром 1—6 см, изредка валунов размером до 15 см. Все пески пылеватые; содержание фракции менее 0,01 мм достигает 30—35%, что связано с сильной степенью выветривания полевых шпатов. При этом отмечается закономерное увеличение степени выветривания полевых шпатов сверху вниз: в верхах разреза они свежие, книзу выветрелость возрастает и достигает глиноподобного состояния.

Галечники хорошо окатаны; степень окатанности ухудшается вниз по разрезу. Галька обычно мелкая диаметром 1—3 см, редко 3—6 см, различного петрографического состава с преобладанием гранитов, аплитовидных пород, пегматитов (40—50%). На втором месте по содержанию находятся кислые эффузивы (30—40%). По всему разрезу встречаются мелкие валуны размером 10—15 см. Степень выветрелости валунно-галечникового материала незначительная — она выражается в наличии белесой и ожелезненной корки. Заполнитель - супесь или песок кварц-полевошпатовый мелко- или грубозернистый, ржаво-бурый.

Аллювиально-пролювиальные плейстоценовые и голоценовые отложения распространены в южной части депрессии, где они тянутся полосой до 40 км вдоль хр. Джагды, слагая предгорные шлейфы. Комплекс представлен валунно-галечно-песчано-глинистым материалом с неясной горизонтальной слоистостью. Мощность крайне непостоянная и колеблется от 1 до 50 м, возможно до нескольких сотен метров. Основную часть разреза составляют галечники с валунами и гравием. Размер галек от 1 до 10 см. Крупность материала увеличивается с севера на юг. Валуны преимущественно мелкие (до 15 см), редко достигают 20 см. Для гальки характерна уплощенная форма. Окатанность чаще I—II класса, у голоценовых отложений — II—III класса. В составе преобладают кристаллические сланцы, филлиты, в западной части — гранитоиды. В примеси много сильновыветрелых обломков пород, образованных при разрушении гальки. Заполнитель — песок разнозернистый, чаще мелкий, бурый, пепельно-серый, сильноглинистый. Содержание глинистого материала нередко достигает 50% и усиливает связность (цементацию) отложений. Пески плохо отсортированные, глинистые, полимиктовые. Пористость песков увеличивается от древних к голоценовым. В том же направлении уменьшается и содержание глинистого материала.

Аллювиальные средне-верхнеплейстоценовые и голоценовые отложения выполняют долины Зеи и ее притоков, слагая террасы высотой 8—10, 15—25 м и поймы. Отлагались осадки крупной рекой со спокойным, местами застойным течением в эпоху умеренного, умеренно холодного климата. Разрез характеризуется двучленным строением. В низах преобладают русловые галечники с валунами или гравелистые пески; в верхней части—пойменные пески с прослоями суглинков, глин, торфа. Разрез низкой поймы отличается значительным непостоянством. Характерно фациальное замещение галечников, песков, суглинков, глин, илов. Преобладают пески; галечники имеют подчиненное значение; только в верховьях рек они нередко целиком слагают террасы. В низовьях притоков и в западной части депрессии много линз илов и глин. Кроме того, для I надпойменной террасы характерно наличие линз льда зернистой структуры. Видимая мощность комплекса 20—25 м.

Галечники хорошо окатаны, свежие, невыветрелые, диаметром от 1 до 8 см. Встречаются валуны размером от 10 до 25 см. Петрографический состав самый разнообразный, много интрузивных и эффузивных пород. Заполнитель — песок, чаще крупный или гравелистый, хорошо отсортированный, полимиктовый, с большим количеством слюды, нередко ожелезненный. Особенно интенсивно ожелезнение в районе высокой поймы, что связано с высоким содержанием окислов железа в водных растворах в период оптимума. Ожелезнение на отдельных участках цементирует галечники с образованием слабых конгломератов. Гранулометрический состав характеризуется значительной изменчивостью: на долю галек приходится 17—64%, гравий составляет 24—40%. Заполнитель — разнозернистый песок, при этом фракция менее 0,5 мм составляет 20—24%. Неодпородность состава приводит к формированию плотного сложения.

Пески полимиктовые или кварц-полевошпатовые, горизонтальнослоистые. Слоистость подчеркивается изменением гранулометрического состава песков от гравелистого (обычно желтых тонов) до мелких и пылеватых глинистых темно-серого цвета. Доминируют мелкие и пылеватые глинистые пески. Зерна угловатые, неокатанные, реже хорошо окатанные. Много слюды и растительных остатков.

На поймах рек с поверхности встречается торф, мощность которого колеблется от 0,4 до 2 м. Торф сфагновый, осоково-сфагновый, неразложившийся или плохо разложившийся бурого цвета, с глубины 0,3—0,8 м обычно мерзлый.

Гидрогеологические условия

Регион представляет собой межгорный артезианский бассейн мезокайнозойской впадины, характеризующийся широким распространением многолетней мерзлоты. Верхняя часть разреза чехла, образованная плиоцен-четвертичными песчано-гравийно-галечниковыми отложениями, большей частью промерзла на глубину 50—100 м. В отложениях заключены подмерзлотные воды с напором 20—70 м. К склонам южной экспозиции приурочены талики, в пределах которых воды имеют свободную поверхность. Они разгружаются у подножий склонов родниками с дебитами до 10 л/с и пластовыми выходами протяженностью до 80 м, вызывая заболачивание прирслоиовых частей долин. Зимой у подножий склоиов образуются наледи площадью 50—100 м^2, толщиной 1 м. В летний период в речных долинах в слое сезонного протаивания формируются надмерзлотные воды, которые благодаря неглубокому залеганию вызывают заболачивание пойм и низких террас с образованием на них марей. Зимой эти воды полностью перемерзают. По химическому составу воды плиоцен-четвертичных отложений гидрокарбонатные кальциевые или смешанные по катионам с минерализацией до 0,1 г/л. Благодаря низкой минерализации они обладают сильной выщелачивающей агрессивностью, в меньшей степени углекислотной.

Ниже глубины 200 м в палеогеновых и мезозойских породах предполагается наличие пластово-трещинных напорных вод, сведения о которых из-за слабой гидрогеологической изученности бассейна отсутствуют.

Современные геологические процессы и явления

Широкое развитие многолетнемерзлых пород, суглинистых грунтов с поверхности способствует значительному развитию заболачивания

Верхне-Зейской депрессии. Наиболее активен этот процесс в долинах притоков Зеи, где он охватывает 80—85% площади. На остальной территории заболоченные участки составляют только 15—30% и приурочены, как правило, к понижениям и плоским водоразделам. Наличие многолетней мерзлоты с небольшой глубины приводит к формированию верховых сфагновых болот с редкостойной лиственницей. Из общей площади заболоченных пространств 98% составляют заболоченные луга и леса с торфом мощностью 25—30 см. Максимальная мощность торфяных залежей 1—2 м. На поймах заболачивание носит эвтрофный характер и распространены осоковые и вейниковые сообщества. За пределами затопляемой зоны заболачивание приобретает мезотрофный и олигомезотрофный характер. Большую площадь здесь занимают лиственничные кустарничково-сфагновые мари.

Из мерзлотных процессов наиболее широко развито пучение. Бугры пучения часто встречаются в днищах долин и на пологих склонах, где процессы криогенного пучения занимают 10—20% площади. Высота бугров 1,5—2 м, на I надпойменной террасе она достигает 2,5—3 м. На водоразделах бугры пучения встречаются редко (6% площади), высотой до 1 м. Процесс термокарста также широко развит. Он проявляется в форме сухих и обводненных западин, озер округлой формы, реже вытянутой по направлению падения долин. Наиболее активно протекает этот процесс на I надпойменной террасе, где он охватывает 24% площади, на пойме всего 11%. На участках возвышенных равнин встречаются только сухие неглубокие термокарстовые западины, занимающие 2% площади. На пологих склонах развиты процессы солифлюкции в виде медленных смещений чехла (без разрыва сплошности дернины) с образованием солифлюкционных натеков и наплывов.

На довольно крутых склонах (свыше 30°) значительно развит процесс линейной эрозии, которая приводит к формированию ложбин, борозд. Способствуют эрозионным процессам ливневые дожди, наличие тектонически ослабленных зон в близко залегающих к поверхности скальных породах. На более пологих склонах (от 10 до 30°) эрозионная сеть характеризуется значительной разветвленностью, так как возрастает мощность рыхлых, легкоразмываемых отложений.

АРСЕНЬЕВСКИЙ РЕГИОН

Регион охватывает две крупные орографические единицы: отроги Восточно-Маньчжурских гор, западные и южные отроги горной системы Сихотэ-Алинь. Отроги Восточно-Маньчжурских гор — это преимущественно сглаженные, пологосклоновые грядово-холмистые и холмисто-увалистые предгорья с абсолютными высотами 200—500 м, расчлененные широкими трапецеидальными долинами и межгорными впадинами. Даже базальтовое плато не нарушает общего характера рельефа, и лишь крутые склоны и обрывы в верхней части отражают изменение геологического строения. Только вдоль самой границы предгорья сменяются низкогорными хребтами небольшой протяженности высотой от 600 до 1000 м с более четко очерченными склонами крутизной 15—30°.

Отроги Сихотэ-Алиня представляют собой сочетание преимущественно низкогорных денудационно-эрозионных грядовых хребтов с участками холмисто-увалистых предгорий. На западе хребты имеют преимущественно северо-восточное простирание, широкие слабоволнистые гребни и пологие или средней крутизны склоны. Их абсолютные вы-

соты 800—1000 м, в области предгорий — 300—500 м. Расчлепепы западные отроги густой ветвистой сетью широких трапецеидальных терасированных долин и межгорных впадин. На юге хребты северо-восточного, меридионального и северо-западного простирания. Абсолютные высоты возрастают до 900—1350 м. Гребни волнистые, нерелко узкие. Склопы крутые, расчлепепы густой сетью нешироких U-образных и трапецеидальных долин. Здесь же расположено и средневысотное плато с плоскими широкими водоразделами и обрывистыми склопами. К берегу моря горы сменяются полосой плоских или волнистых узких прибрежных аккумулятивных равнин, которые расширяются в устьях рек и на крайнем юге. Таким образом, морское побережье на значительном протяжении низменное, расчленено бухтами, только па небольших по протяженности участках берега скалистые абразионные.

Климат региона в целом муссонный, однако в западной части он более континентальный, что определяется влиянием Азиатского материка. Среднегодовая температура колеблется от 2 до 3,5°. Несколько отличается температурный режим прибрежной части региона. Здесь средняя температура января мииус 10—13°, а августа (самого теплого месяца) +20°. Абсолютный температурный минимум отмечен южнее г. Партизанска (—36°). Атмосферные осадки распределяются по площади неравномерно: в западной части региона они не превышают 500 мм, в восточной — 600—700 мм, к югу количество осадков увеличивается до 800 мм и более. Основная масса осадков приходится на летние месяцы. Наиболее дождливый август, с ливневыми дождями. Иногда во время ливня выпадает до 30% годовых осадков.

Территория расположена в южной зоне хвойно-широколиственных лесов. На склонах гор распространены остепненные черноберезово-дубовые с буком и грабом леса, в долинах — лесостепные ассоциации. В отрогах Сихотэ-Алиня доминируют широколиственные вторичные леса с участками хвойно-широколиственных. Почвенный покров представлен бурыми горно-лесными почвами, на крайнем юге — желтоземно-бурыми.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

В тектоническом отношении регион относится к области палеозойской складчатости Сихотэ-Алинской складчатой системы и включает серию прогибов (Западно-Приморский, Даубихинский и Южно-Приморский), развившихся на окраинных частях Ханкайского массива, и отдельные участки блокового строения. В геологическом строении этого сложного гетерогенного региона обнаруживаются черты сходства и с консолидированными участками земной коры (массивами), и с активно развивающимися геосинклиналями, которым вышеназванные прогибы обязаны своим развитием. Большая часть территории была консолидирована в среднем палеозое и в дальнейшем подвергалась преимущественно глыбовым движениям. Различия в геологическом строении отдельных частей региона позволяют выделить следующие структурно-формационные зоны (Берсенев, 1969): Алчанскую, Даубихинскую, Южно-Приморскую и Западно-Приморскую, в истории развития которых намечается несколько циклов. В раннепалеозойский цикл развития (кембрий-девон) в типично геосинклипальных условиях накапливались терригенно-карбопатная (Даубихинская зона), терригенно-карбонатно-вулканогенная и терригенно-кремнисто-вулканогенная (Западно- и Юж-

но-Приморская зоны) формации. Со складчатыми движениями в девоне связано формирование гранитоидной и гипербазит-габбровой формаций.

На характер осадконакопления в позднепалеозойский цикл развития (пермь) большое влияние оказывали тектонические процессы, проявлявшиеся в соседней с востока геосинклинали, что обусловило большое фациальное разнообразие отложений при меньших мощностях и более спокойном залегании по сравнению с геосинклинальной зоной. Большая часть территории представляла собой арену интенсивного вулканизма, в результате которого были сформированы в субаэральных условиях мощные толщи вулканических и вулканогенно-осадочных пород (терригенно-вулканогенная формация). Одновременно в прогибах (к ним в дальнейшем были приурочены мезозойские наложенные впадины) накапливались терригенная и терригенно-карбонатная формации (Даубихинская и Южно-Приморская зоны), а также терригенно-кремнисто-вулканогенная (Западно-Приморская зона). Состав и мощности двух первых формаций выдержаны на больших расстояниях, что сближает их с платформенными образованиями. Складчатые движения в позднем палеозое завершились формированием гранитоидной формации, широко распространенной во всех структурно-формационных зонах.

В мезозойско-кайнозойский цикл развития на ранней стадии (триас — ранний мел) тектонический режим и условия осадконакопления, сложившиеся к концу поздней перми, сохранились. В наложенных мезозойских впадинах накапливались терригенно-карбонатная и песчаноглинистая сероцветная формации (морская и прибрежно-морская), а на участках ранее консолидированных — угленосная. В конце готерива на большей части территории установился континентальный режим. Во впадинах продолжали накапливаться сероцветная терригенная (прибрежно-морская), угленосная и терригенно-вулканогенная молассовая формации (готерив — нижний сенон). Сеноиские складчатые движения в Сихотэ-Алинской геосинклинали привели к полной ликвидации морского режима в пределах описываемой территории и усилению вулканической деятельности, сформировавшей мощные толщи наземных вулканитов — аидезитовая и липаритовая формации. В позднем мелу и раннем палеогене с завершающими фазами складчатости связано формирование гранитоидной формации, имеющей незначительное распространение. В палеогене и неогене в кайнозойских наложенных грабенообразных структурах (межгорных и предгорных впадинах) накапливались угленосные отложения (терригенная молассовая и угленосная формации кайнозойских впадин). Локально проявлявшаяся вулканическая деятельность в неогене завершилась формированием широко распространенной на юге Приморья базальтовой формации.

Четвертичные отложения, почти сплошным маломощным чехлом перекрывающие территорию региона, представлены элювиальными, склоновыми, аллювиально-морскими, аллювиальными и гравитационными образованиями.

Терригенно-карбонатная формация кембрия развита локально в Даубихинской зоне и представлена снизу мощными толщами известняков (до 700 м), переслаивающихся с глинистыми сланцами, кремнистыми породами, железистыми кварцитами общей мощностью до 2500 м. Верхние части разреза мощностью до 2000 м сложены песчаниками, конгломератами, гравелитами и алевролитами.

Отложения интенсивно дислоцированы, смяты в крутые линейные, часто косые складки, в зонах тектонических нарушений интенсивно

рассланцованы и подроблены, часто сопровождаются зонами милонитизированных пород. В слоистых известняках часто развита плойчатость и дополнительная складчатость. В инженерно-геологическом отношении отложения почти не изучены.

Терригенно - карбонатно-вулканогенная формация силур-девонского возраста развита в Западно-Приморской и в меньшей степени в Южно-Приморской зонах. В ее составе отмечаются снизу пачки переслаивания известняков (0,01—4 м) и кварцево-карбонатных сланцев (0,05—0,5 м) с многочисленными телами диабазов и порфиритов (0,5—7) общей мощностью до 450 м, сменяющиеся выше тонкоплитчатыми аргиллитами с прослоями кварцевых песчаников мощностью до 100 м. С вулканитами, которые нередко слагают мощные толщи (до 300 м), сопряжены горизонты туфоконгломератов и сильно метаморфизированных туфопесчаников и кремнистых сланцев. Максимальная мощность формации до 1000 м.

Терригенно-кремнисто-вулканогенная формация ордовик-девонского и раннепермского возраста развита в Западно-Приморской, Южно-Приморской и Даубихинской зонах. Формация сложена кремнистыми породами, порфиритами, их туфами, глинистыми сланцами, песчаниками, филлитами, кварц-серицитовыми и кварц-серицит-карбонатными сланцами с маломощными линзами известняков. Для низов формации характерны сланцы, филлиты и кремнистые породы, в средней части существенная роль принадлежит вулканогенным образованиям, в верхах преобладают песчано-глинистые отложения с примесью туфогенных и кремнистых пород. В разрезе раннепермских отложений (Западно-Приморская зона) отмечаются снизу углисто-графитистые и углисто-глинистые сланцы (около 400 м), выше сменяющиеся пачками слюдистых кварцитов (до 1300 м) и линзами кислых эффузивов (300—400 м), в верхней части с прослоями и линзами алевролитов, песчаников и известняков. Общая мощность формации 3000 м, максимальная до 6500 м (Западно-Приморская зона).

Породы терригенно-карбонатно-вулканогенной и терригенно-кремнисто-вулканогенной формаций смяты в крутые линейные складки с углами падения крыльев 50—70°, осложненные на крыльях складками более высоких порядков. Для них очень характерна плойчатость и мелкая складчатость, вблизи разломов складки часто опрокинутые. Породы интенсивно рассланцованы, участками катаклазированы и будинированы, превращены в милониты, нередко гидротермально изменены и метаморфизованы. Из-за слабой обнаженности отложения в инженерно-геологическом отношении почти не изучены. Известняки, кремнистые породы, известковистые песчаники за пределами зон интенсивного рассланцевания и тектонических нарушений представляют собой крепкие и прочные породы. Наименее прочные алевролиты, глинистые сланцы и аргиллиты легко поддаются процессам выветривания.

Гипербазит-габбровая формация палеозойского возраста представлена дунитами, пироксенитами, габбро и ассоциирующими с ними габбро-диабазами, слагающими малые (до 25 км^2) интрузивные тела. Породы интенсивно серпентинизированы; в инженерно-геологическом отношении не изучены.

Терригенно-вулканогенная (порфировая) формация пермского возраста наиболее широко распространена в Даубихинской и Южно-Приморской зонах. В ее составе представлены порфириты, кварцевые порфиры (фельзиты), лавобрекчии с пачками и прослоями грубозернистых туфов, туфоконгломератов, туфобрекчий, песчаников, алевролитов, туффитов и туфопесчаников, углистых аргил-

литов и кремнистых пород. Для формации характерно ритмичное строение как в смене вулканогенных толщ терригенными, так и в строении вулканогенных толщ. Местами отмечаются линзы известняков (30—100 м), замещающиеся по простиранию известковистыми туфами и туффитами. Общая мощность отложений превышает 4000 м.

Отложения формации в разной степени дислоцированы: наряду с интенсивной складчатостью, приближающейся к линейной, наблюдаются широкие брахиформные складки, иногда слои образуют пологие (до 5—10°) моноклинали. Вблизи тектонических нарушений падение пластов увеличивается до 50—80°, породы интенсивно раздроблены, местами рассланцованы.

Порфириты, туфоконгломераты, лавобрекчии, туфы — устойчивые массивные породы. По данным К. В. Александрова, Н. В. Овсянникова, В. С. Коренбаума и других, плотность (10 проб) порфиритов 2,77—2,88 г/см^3; объемная масса 2,66—2,8 г/см^3; пористость 0,5—4%; водопоглощение 0,1—1,3%; временное сопротивление сжатию $1010 \cdot 10^5$ — $1416 \cdot 10^5$ Па. Износ в барабане Деваля 2,5%. Очень прочными являются туфы дацитового состава (8 проб), их плотность 2,65—2,7 г/см^3; объемная масса 2,6—2,68 г/см^3; пористость 0,37—1,51%; водопоглощение 0,12—0,79%; временное сопротивление сжатию $1200 \cdot 10^5$ — $2725 \cdot 10^5$ Па; коэффициент размягчения 0,79—1.

Наиболее подвержены действию экзогенных процессов фельзиты в береговой зоне Японского моря (Южно-Приморская зона), где нередко разрушены до состояния сапролита (Корженко, 1953). Невыветрелые разности достаточно прочны.

Терригенно-карбонатная формация позднепермского—раннетриасового возраста наиболее характерна Южно-Приморской и менее Западно-Приморской зонам. Состав и мощность формации выдержаны на больших площадях. Она представлена известняками, известковистыми песчаниками, конгломератами, углистыми алевролитами и песчаниками. Максимальная мощность массивов известняков 200—300 м. Почти постоянно в составе формации отмечаются прослои известковистых туфов и туффитов. Общая мощность формации около 1500 м. Отложения смяты в крупные брахиформные складки с углами падения пластов на крыльях от 10 до 60°. Местами дополнительная мелкая складчатость обусловливает более крутые падения пластов до 80—90°.

Известняки и известковистые песчаники[1], по данным Н. В. Овсянникова (8 проб), объемной массой 2,73—2,75 г/см^3; пористостью 0,74—1,8%; водопоглощением 2,71—2,72%; временным сопротивлением сжатию $1000 \cdot 10^5$ Па, микротрещиноватых разностей до $600 \cdot 10^5$ Па.

Плотность песчаников[1] (5 проб) 2,6—2,64 г/см^3; объемная масса 2,44—2,51 г/см^3; пористость 2—4%; водопоглощение 1,51—1,55%; временное сопротивление сжатию $700 \cdot 10^5$—$980 \cdot 10^5$ Па, в песчаниках с кремнистым цементом оно увеличивается до $1960 \cdot 10^5$ Па, с глинистым цементом либо туфовым уменьшается до $440 \cdot 10^5$ — $570 \cdot 10^5$ Па. Описанные породы устойчивы к процессам выветривания, интенсивная трещиноватость в них распространена до глубины 10—20 м. Алевролиты менее устойчивы в массивах: временное сопротивление сжатию невыветрелых разностей $300 \cdot 10^5$ — $500 \cdot 10^5$ Па.

Песчано-глинистая сероцветная формация включает отложения пермского и триасового, юрского и

[1] Инженерно-геологическая характеристика пород приводится в основном по Южно-Приморской зоне.

раннемелового возраста и широко развита во всех структурно-формационных зонах. Для нее характерны аркозовые и полимиктовые песчаники с прослоями алевролитов и пачками переслаивания алевролитов и песчаников, в нижней части разреза (ранняя пермь, триас) с прослоями углисто-глинистых, углисто-графитистых и филлитовидных сланцев, с линзами гравелитов, конгломератов, кремнистых пород, известняков. Глинистые и углистые сланцы часто содержат прослои сажистых углей и углистых песчаников. Наряду с этим постоянно отмечается примесь туфогенного материала (туфы, туфопесчаники), а также редкие прослои (возможно, силлы) порфиритов и фельзитов. Общая мощность формации превышает 5500 м.

Породы в разной степени дислоцированы. Наряду с пологим залеганием слоев (в крупных грабенообразных структурах) отмечаются крутые, местами опрокинутые складки, осложненные разрывными нарушениями, гофрировкой и флексурообразными перегибами.

Наиболее детально с инженерно-геологической точки зрения эти породы изучены в Южно-Приморской зоне. Плотность песчаников (5 проб) 2,64 г/см^3; объемная масса 2,50 г/см^3; пористость 4,17%; водопоглощение 1,74%; временное сопротивление сжатию $307 \cdot 10^5$ — $753 \cdot 10^5$ Па. В кварцевых песчаниках, по данным И. Н. Свинниникова, плотность (10 проб) 2,65—2,7 г/см^3; объемная масса 2,48—2,53 г/см^3; пористость 4,5—7,8%; водопоглощение 0,08—2,76%; временное сопротивление сжатию $1370 \cdot 10^5$ — $1580 \cdot 10^5$ Па. Износ в барабане Деваля 1,8—3,6%. Высокими прочностными показателями характеризуются туфы, туфопесчаники и песчаники с известковистым цементом. Прочность алевролитов у поверхности незначительна ($50 \cdot 10^5$ — $300 \cdot 10^5$ Па), с глубиной она увеличивается до $500 \cdot 10^5$ Па. Конгломераты и гравелиты по единичным определениям плотностью 2,73 г/см^3; объемной массой 2,56 г/см^3; имеют водопоглощение 1,52%; пористость 7%; временное сопротивление сжатию $900 \cdot 10^5$ Па.

Угленосная формация позднетриасового и мелового возраста наиболее широко развита в Алчанской, Арсеньевской и Южно-Приморской зонах. Она представлена песчаниками, алевролитами, аргиллитами, конгломератами, туфами, сланцами, каменными углями. Мощность прослоев углей до 0,5 м, количество их в разрезе может достигать 30. Для формации характерно, за редким исключением, увеличение роли тонкозернистых разностей вверх по разрезу. Общая мощность формации 900—1200 м. Породы слагают крупные мульды, осложненные многочисленными разломами и брахискладками; углы падения слоев от 3 до 25°.

Наиболее прочными породами формации являются кварцевые и полимиктовые песчаники, по данным В. С. Коренбаума, В. А. Кудинова и других (42 пробы), плотностью 2,03—2,68 г/см^3; объемной массой 2,5—2,64 г/см^3; имеют водопоглощение 0,08—1,3%; коэффициент размягчения 0,75—0,92; временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $1292 \cdot 10^5$, реже до $1750 \cdot 10^5$ Па, а в водонасыщенном до $990 \cdot 10^5$—$1145 \cdot 10^5$ Па. Износ в барабане Деваля 1,9 5,8%. Прочность тех же песчаников, но выветрелых, в сухом состоянии $595 \cdot 10^5$—$632 \cdot 10^5$, реже $50 \cdot 10^5$ Па, а в водонасыщенном — $511 \cdot 10^5$ — $525 \cdot 10^5$ Па; коэффициент размягчения 0,58—0,99; водопоглощение до 3,17%; пористость 7,14%. Временное сопротивление сжатию конгломератов и гравелитов с глинистым цементом не превышает $600 \cdot 10^5$ Па. Глинистые разности пород в невыветрелом состоянии имеют прочность $200 \cdot 10^5$ — $500 \cdot 10^5$ Па, у поверхности они почти рыхлые.

Вулканогенно-терригенная молассовая формация позднемелового возраста выполняет мезозойские наложенные впадины (Даубихинская, Южно-Приморская и Алчанская зоны). Формация представлена крупногалечными конгломератами, туфогенными и полимиктовыми песчаниками и алевролитами, пестроокрашенными аргиллитами, туфобрекчиями, туфоконгломератами, туффитами, порфиритами, порфирами (альбитофирами, кератофирами и др.) и их псаммитовыми и агломератовыми туфами. Пачки эффузивов и пирокластических пород (400—550 м) отмечаются по всему разрезу. Максимальная мощность формации до 1400 м.

Почти повсеместно породы формации залегают слабонаклонно, образуя брахисинклинали с плоскими и широкими ядрами и углами падения пород на крыльях до 5—15°. Лишь вблизи разломов породы интенсивно дислоцированы и катаклазированы. В инженерно-геологическом отношении породы формации изучены слабо. Песчаники, порфириты, туфобрекчии характеризуются временным сопротивлением сжатию $800 \cdot 10^5 — 1300 \cdot 10^5$ Па, в выветрелом состоянии $600 \cdot 10^5$ Па; для алевролитов и аргиллитов эти значения в 2—3 раза меньше.

Андезитовая и липаритовая формации позднемелового возраста распространены широко. Первая представлена покровами андезитовых порфиритов, горизонтами псаммитовых и агломератовых туфов и ксенотуфов, лавобрекчий, туфобрекчий и туфоконгломератов. Мощность формации до 400 м.

Липаритовая формация представлена массивными кварцевыми порфирами, флюидальными липаритами, дацитами, кварцевыми альбитофирами, их туфами, туфобрекчиями, туфоконгломератами и игнимбритами. Породы формации насыщены мелкими субвулканическими телами и интрузивными залежами, часть которых является, по-видимому, подводящими каналами тех же эффузивов. В низах формации среди эффузивов отмечаются прослои (до 40 м) углистых алевролитов и аргиллитов, линзы угля (Алчанская и Даубихинская зоны). Общая мощность формации до 800 м.

Вулканиты андезитовой и липаритовой формаций залегают в виде слабонаклонных покровов, занимая наиболее возвышенные участки современного рельефа. Породы слабо дислоцированы, вблизи разломов отмечается интенсивная трещиноватость и катаклаз. Средняя мощность активной зоны трещиноватости составляет не более 30 м.

Эффузивные разности характеризуются высокой прочностью и устойчивостью к экзогенным процессам и среди них особенно выделяются андезиты, андезито-базальтовые порфириты, массивные кварцевые порфиры. Порфириты, по данным Г. И. Трофимука (1951), характеризуются (232 пробы) плотностью 2,68—2,84 г/см^3; объемной массой 2,6—2,8 г/см^3; водопоглощением 0,1—1,06%; пористостью 0,31—2,23%. Временное сопротивление сжатию их в сухом состоянии $1092 \cdot 10^5 — 2046 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $1050 \cdot 10^5 — 1673 \cdot 10^5$; иногда достигает $2044 \cdot 10^5$ Па. Коэффициент размягчения 0,73—1. Потери в весе при 10-кратном промораживании 0,02%. В сильно измененных и трещиноватых разностях плотность уменьшается до 2,3—2,4 г/см^3. Высокие прочностные свойства сохраняют туфы и ксенотуфы. По данным Б. Г. Черниха (1966), ксенотуфы (38 проб) плотностью 2,64—2,68 г/см^3; объемной массой 2,36—2,63 г/см^3; водопоглощением 0,55—5 (чаще менее 1%); пористостью 1,08—15%. Временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $627 \cdot 10^5 — 1282 \cdot 10^5$ Па (чаще меньше $1000 \cdot 10^5$ Па), в водонасыщенном — $320 \cdot 10^5 — 837 \cdot 10^5$ Па. Коэффициент размягчения 0,51—0,8.

Базальтовая формация плиоценового и андезито-базальтовая формация эоценового возраста широко развиты в пределах Западно- и Южно-Приморской зон. Первая мощностью до 400 м представлена базальтами, долеритами и андезито-базальтами, слагающими обширное Шкотовское плато, а также множество более мелких плато и покровов, столовых и куполовидных гор. В составе андезито-базальтовой формации мощностью до 200 м кроме перечисленных пород существенная роль принадлежит андезитам и дацитам, трахиандезитам и трахидацитам, а также пирокластическим образованиям, грубообломочным туфобрекчиям, глыбовым лавобрекчиям.

Нижние части покровов сложены крепкими и слаботрещиноватыми плотными и мелкопористыми разностями, в верхней преобладают трещиноватые, пористые, ноздреватые породы. Между отдельными потоками мощностью от долей метра до 35 м либо покровами наблюдаются коры выветривания или аллювиально-озерные отложения мощностью до 20 м.

В обнажениях базальтоиды устойчивы, хотя местами и сильно трещиноваты. Трещины вертикальные открытые, гладкие, расстояние между ними 1—2 м, горизонтальные — закрытые, расстояние между ними 1—10 м. Плотные андезито-базальты (18 проб) Шкотовского месторождения, по данным Н. В. Овсянникова (1968), плотностью 2,73—2,91 г/см^3; объемной массой 2,61—2,81 г/см^3; пористостью 2,1—4,1%. Временное сопротивление сжатию $2800 \cdot 10^5$ — $6881 \cdot 10^5$ Па. Часто встречаются значения $4000 \cdot 10^5$ — $4200 \cdot 10^5$ Па. Пористые разности менее прочные (8 проб): плотность их 2,77—2,87 г/см^3; объемная масса 1,61—2,19 г/см^3; пористость 25—49%; временное сопротивление сжатию $200 \cdot 10^5$ — $968 \cdot 10^5$ Па. Физико-механические свойства базальтов и андезито-базальтов в зависимости от степени их выветрелости приводятся в табл. 52.

Таблица 52

Физико-механические свойства базальтов и андезито-базальтов

Базальты, андезито-базальты	Пористость, %	Плотность, г/см^3	Объемная масса, г/см^3	Водопоглощение, %	Временное сопротивление сжатию, 10^5 Па	Морозостойкость
Плотные	2,2	2,82	2,76	0,7	1210	При 25 циклах не разрушались
	5,7	2,82	2,66	1,3	710	
	6	2,87	2,69	1	1043	
	9	2,87	2,59	2,2	957	
Пористые	25,4	2,85	2,12	7,4	203	Разрушались при 8 циклах
	29,6	2,84	2,01	6,4	120	Разрушались при 25 циклах
	30,7—34,6	2,87	1,99	10,1—12,5	137	Разрушались при 15 циклах

Угленосная и терригенная молассовая формации эоцен-плиоценового возраста развиты ограниченно в пределах кайнозойских наложенных впадин. Отложения угленосной формации (эоцен-олигоцен) представлены конгломератами (галечниками), перекрытыми алевролитами, аргиллитами, песчаниками (песками) с пластами бурых, значительно литифицированных углей мощностью до 1,5—2,5 м. Местами в отложениях отмечается примесь туфогенного материала. Почти во всех впадинах происходит смена грубообломочных фаций мелко- и тонкообломочными с прослоями угля вверх по разрезу

и от бортов к центру депрессий. Общая мощность пород до 1400 м. Отложения формации залегают почти горизонтально, у бортов углы падения пластов иногда достигают 5—15°.

В составе терригенной молассовой формации (миоцен-плиоцен) отмечаются слабо сцементированные песчаники, алевролиты, туффиты, конгломераты с прослоями туфов, гравийников с песком и галькой, глины, диатомиты. В верхах толщи залегают слабо уплотненные галечники и гравийники, с линзами уплотненных песков и глин, пепловых туфов, туффитов и диатомитов. Общая мощность толщи до 850 м. Отложения формации практически не дислоцированы.

Эоцен-олигоценовые отложения относятся к малоустойчивым, довольно мягким породам. Глинистые разности твердой, реже полутвердой консистенции, характеризуются слабой сжимаемостью. Иногда они размокают в воде; некоторые разности относятся к слабонабухающим. Песчаные и галечные образования слабо сцементированы, легко раскалываются и рассыпаются при ударах. Среди миоцен-плиоценовых отложений преобладают рыхлые разности; для них характерна большая выветрелость. Пески уплотненные: естественная влажность 14—25%; плотность 2,6—2,65 г/см^3; угол естественного откоса в сухом состоянии 36—44°, под водой — 33—35°. Износ в барабане Деваля гальки 25—30%, гравия до 40%. Все разновидности туфов и туфогенных пород размокают в воде и слегка увеличиваются в объеме. Диатомиты сильно пористые, плохо размокающие в воде. Более подробная характеристика пород формации приведена в Приханкайском регионе, где они широко распространены.

Гранитоидная формация объединяет интрузивные образования трех интрузивных комплексов: среднепалеозойского, позднепалеозойского (наиболее широко распространенного во всех структурно-формационных зонах) и позднемелового-раннепалеогенового. В строении этих многофазных комплексов принимают участие габбро (ограниченно), диориты, гранодиориты, адамеллиты, плагиограниты, граниты крупнокристаллические, аляскитовые и аплитовидные. Они слагают крупные батолитообразные плутоны, штокообразные и лакколитоподобные интрузивные тела. Характерной особенностью среднепалеозойских гранитоидов является развитие площадных кор выветривания. Мощность интенсивно-выветрелых пород изменяется от первых метров до 70 м. Так, северо-восточнее г. Артема граниты (видимой мощностью 20 м) превращены в дресву, легко рассыпающуюся в руках и растирающуюся до глиноподобной массы. Все палеозойские интрузии отличаются интенсивным катаклазом и явлениями рассланцевания. Наименьшей прочностью средн интрузивных образований обладают сильновыветрелые палеозойские граниты (7 проб) плотностью 2,66—2,68 г/см^3; объемной массой 2,58—2,63 г/см^3; пористостью 1,1—3,7%; водопоглощением 0,42—0,63%. Временное сопротивление сжатию до $600 \cdot 10^5$ Па. Они чаще всего используются для дорожного строительства и разрабатываются без предварительной подготовки простейшими механизмами. Слабовыветрелые разности характеризуются (5 проб) плотностью 2,66—2,67 г/см^3; объемной массой 2,58—2,6 г/см^3; пористостью 0,03—0,04%; водопоглощением 0,28—0,52%. Временное сопротивление сжатию $900 \cdot 10^5$ — $1470 \cdot 10^5$ Па, иногда достигает $1600 \cdot 10^5$ Па. Наибольшей прочностью обладают мелкозернистые диориты и аплитовидные граниты мелового и палеогенового возраста, в которых, несмотря на значительную пористость (2—6%) и водопоглощение (0,3—1,9%), временное сопротивление сжатию (7 проб) достигает $2334 \cdot 10^5$ — $2958 \cdot 10^5$ Па. Коэффициент размягчения 9,85—0,93. Износ

гранитоидов в барабане Деваля 2,25—8,3%. Морозостойкость 25—100 циклов. Прочностные свойства гранитоидов после испытаний на морозостойкость, по данным Е. Я. Шапошниковой, снижаются до $516 \cdot 10^5$—$1405 \cdot 10^5$ Па.

Аллювиальные отложения выполняют долины рек. Наиболее широко развиты отложения голоцена и позднего плейстоцена, слагающие пойму и I надпойменную террасу; II и III террасы развиты фрагментарно. Отложения речных террас, как правило, двухслойного строения. Пойменная фация мощностью до 2 м, реже до 3—5 м, представлена супесями, суглинками с включениями гравия и гальки и отдельными линзами песка. Русловая фация гравийно-галечниковая с прослоями песка. По данным К. В. Александрова (1961), в долине р. Шкотовки (149 проб) гравийного материала 48,6%, песчано-гравийного 45,5%, гравийно-песчаного 4,4% и песчаного только 1,4%. В долинах рек, расчленяющих отроги гор, в составе русловой фации доминируют галечники с гравием; пески имеют подчиненное значение. Чаще они встречаются в виде линз и только в нижнем течении слагают большую часть разреза. Галька различной окатанности размером от 1 до 5, иногда до 10 см. В долине р. Уссури гальки 50—70%, в долинах бассейна оз. Ханка — от 30 до 75%. Заполнитель—гравелистый или крупный песок. Пески русловой фации обычно гравелистые (гравия и гальки от 25 до 50%), реже крупные, средней крупности и мелкие пылеватые (фракции 0,05—0,005 мм от 3 до 45%, чаще 20—30%). Естественная влажность песков (выше уровня грунтовых вод) от 6 до 26%; плотность 2,61—2,74 г/см^3, преобладает 2,63—2,66 г/см^3; объемная масса 1,43—1,8, чаще 1,7—1,8 г/см^3. Пористость колеблется в зависимости от литологии, возраста и глубины залегания от 31 до 47% (коэффициент пористости 0,5—0,9). Суглинки обычно содержат значительное количество песчаной фракции и включения гравия. Преобладают средние суглинки. Предел текучести (22 образца) 26—38%; предел раскатывания 17—22%; число пластичности 9—15. Естественная влажность невысокая (18—29%), что указывает на пластичную консистенцию. Плотность 2,56—2,73 г/см^3, объемная масса 1,99—2,04 г/см^3; объемная масса скелета 1,57—1,95 г/см^3; пористость 34—47% (коэффициент пористости 0,52—0,87).

Склоновые отложения позднего плейстоцена и голоцена покрывают сплошным чехлом склоны гор, холмов и увалов. Пологосклоновый рельеф, широкие водоразделы создают возможность для развития элюводелювиальных отложений. Здесь на палеозойских гранитоидах мощность рухляковой зоны достигает 10—20 м и даже 50—60 м. Представлена она дресвой плотного сложения с суглинистым заполнителем в поверхностном слое (разрабатывается землеройными машинами). На осадочных породах распространены щебнистые суглинки мощностью до 10 м. В Южно-Приморской зоне развиты оползневые накопления в виде шлейфов вокруг базальтовых плато. Мощность их 20—60 м, редко больше. В ряде случаев оползни представлены огромными массивами. Оползающие базальты вовлекают в движение глинистые палеогеновые породы. Поэтому состав оползневых накоплений очень разнообразный. В верхней части тела оползня, ближе к зоне обрыва, концентрируется грубый материал, у основания оползня — более тонкий. Количество заполнителя может меняться на небольшом расстоянии. По составу мелкозем, как правило, представлен тяжелыми глинами с содержанием глинистой фракции 86—88%.

Склоны гор покрыты щебнисто-глыбовым делюво-коллювием мощностью до 3 м, иногда более. В основании крутых склонов (более 35°)

скапливаются гравитационные образования. Их площади редко превышают первые десятки квадратных метров. В нижних частях склонов нередко встречаются делювиальные шлейфы шириной 500—800 м, сложенные суглинками и супесями со щебнем. Мощность их от 4 до 10 м, иногда и более. Наиболее детально они изучены в районе Владивостока. Гранулометрический состав делювия (34 образца) характеризуется значительным содержанием глинистой фракции (22—55%); фракции 0,05—0,0005 мм — 19—40%; более 0,05 мм — 6—10%, реже до 30—40%. Пластичность, как правило, невысокая: предел текучести 28—35%; предел раскатывания 18—23%; число пластичности 10—12; плотность 2,68—2,71 г/см^3; объемная масса 1,92—2,01 г/см^3; объемная масса скелета 1,65—1,76 г/см^3; пористость 33,6—38,4% (коэффициент пористости 0,51—0,62); естественная влажность 17—21%; показатель консистенции 0,018—0,21. Суглинки находятся в полутвердом, реже в пластичном состоянии. Сжимаемость средняя (модуль сжимаемости при нагрузке 20—40 Н/см^2 составляет $0{,}01 \cdot 10^{-5}$ — $0{,}03 \cdot 10^{-5}$ Па$^{-1}$, модуль осадки — 20—40 мм/м).

Аллювиально-морские отложения голоценового возраста распространены в устьях наиболее крупных рек, впадающих в Японское море. Представлены они песками, гравием и галькой с прослоями илов и глин. По данным Э. И. Воробьева, илы отличаются различным гранулометрическим составом, высокой примесью песчаной фракции (до 21—37%) и органического вещества (3—12%). Это подтверждается значительным диапазоном пластичности (18 определений): предел текучести 26—50%; предел раскатывания 20—26%; число пластичности 9—23. Естественная влажность варьирует от 33 до 123%; плотность 2,56—2,76 г/см^3; объемная масса 1,33—1,89 г/см^3; объемная масса скелета 0,79—1,44 г/см^3; пористость 49—76% (коэффициент пористости 0,95—3,19). По компрессионным испытаниям илы относятся к сильносжимаемым. Модуль сжимаемости при нагрузке 15 Н/см^2 составляет $11{,}4 \cdot 10^{-5}$—$29{,}2 \cdot 10^{-5}$ Па$^{-1}$, коэффициент сжимаемости превышает $0{,}1 \cdot 10^{-5}$ Па$^{-1}$. Угол внутреннего трения 10°31′ — 14°42′; сцепление $0{,}04 \cdot 10^5$—$0{,}16 \cdot 10^5$ Па. Пески мелкие, пылеватые, заиленные, со значительной примесью органического вещества (2,46—9%). Содержание фракции 2—0,05 мм колеблется от 37 до 89,7%; фракции 0,05—0,005 мм — от 15,5 до 45,4%. Плотность их 2,61—2,68 г/см^3; объемная масса 1,88—1,92 г/см^3; пористость 41—56% (коэффициент пористости 0,7—1,28). Влажность, как правило, высокая, нередко пески водонасыщены. По результатам компрессионных испытаний они относятся к сильно-, реже среднесжимаемым. Модуль сжимаемости при нагрузке 12,5 Н/см^2 составляет $82{,}7 \cdot 10^{-5}$ — $74{,}7 \cdot 10^{-5}$ Па$^{-1}$, модуль осадки — 12,5—26,9 мм/м (20 определений). При нагрузке 20 Н/см^2 модуль сжимаемости $140{,}7 \cdot 10^{-5}$ — $158{,}7 \cdot 10^{-5}$ Па$^{-1}$, модуль осадки — 11,8 — 12,8 мм/м. Углы внутреннего трения очень высокие (32—39°), что, вероятно, объясняется присутствием мелкой ракушки и гравия.

Гидрогеологические условия

Рассматриваемый регион представляет собой систему сильно выположенных пенепленизированных горных массивов с широким распространением грунтовых поровых вод четвертичных отложений и трещинных вод докайнозойских пород.

Грунтовые воды приурочены в основном к аллювиальным и аллювиально-морским отложениям речных долин, характеризующимся зна-

чительной изменчивостью состава как по простиранию, так и в разрезе. Глубина до воды в пределах пойм и первых надпойменных террас не превышает 3, чаще 1—2 м, на более высоких террасах — увеличивается до 4—5 м. Максимальная высота стояния уровня приходится на период интенсивного выпадения осадков (июль — август). Меженные уровни регистрируются в феврале — начале марта. Амплитуда колебаний уровней 1—2 м.

Пестрота фациального состава отложений обусловливает их различную водообильность. Наиболее водообильными являются голоценовые аллювиальные отложения рек Шкотовки, Раздольной и Партизанской, имеющие крупнообломочный состав. Удельные дебиты скважин достигают здесь 1—6 л/с. Аллювиально-морские отложения, выполняющие устьевые части долин, отличаются слабой водоотдачей и низкой водообильностью, что связано с их илистым и песчано-илистым составом. Воды пресные, гидрокарбонатные, смешанные по катионному составу с минерализацией 0,1—0,3 г/л, обладают выщелачивающей и общекислотной (вблизи моря) агрессивностью. К делювиальным, оползневым и прочим отложениям горных склонов приурочена верховодка, которая вскрывается в нижних частях склонов при проходке котлованов, шурфов и других горных выработок. Вода в выработках часто появляется не сразу. В слабоводообильных делювиальных отложениях выработки заполняются водой постепенно, иногда в течение суток. Обычно верховодка носит сезонный характер и отличается резко переменным режимом. Дебиты родников в оползневых накоплениях изменяются от 0,3—1,4, зимой до 12—56 л/с во время ливневых дождей. По составу верховодка близка к атмосферным осадкам и благодаря низкой минерализации обладает сильной выщелачивающей агрессией. Делювиальные отложения в зимний период безводны.

Трещинные воды докайнозойских пород развиты почти повсеместно. Они приурочены к верхней зоне региональной трещиноватости пород (грунтовые трещинные) и к зонам интрузивных контактов и тектонических нарушений (трещинно-жильные). Глубина залегания их обычно превышает 10 м. Воды, как правило, безнапорные, за исключением зон тектонической трещиноватости, где возможны напоры до первых десятков метров. Водообильность пород слабая. Повышенной водообильностью обладают лишь гранитоиды в приконтактовых частях и карбонатные закарстованные породы. Трещинные воды гидрокарбонатные кальциевые или смешанные по катионам, с минерализацией до 0,3 г/л, обладают агрессивностью выщелачивания.

Межгорные и предгорные кайнозойские впадины представляют собой небольшие изолированные артезианские бассейны, слабо изученные в гидрогеологическом отношении. Воды бассейнов приурочены к прослоям песков, гравийников, галечников, разделенных водоупорными породами на ряд горизонтов, гидравлически связанных между собой. Они вскрываются на глубинах от 1,5—2 м в периферических частях бассейнов до 100 м и более в центральных. Воды в основном напорные. Пьезометрические уровни устанавливаются на 0,15—24 м выше поверхности земли и дают самоизлив до 10 л/с и более (Глуховская депрессия). В целом водообильность пород слабая. Максимальные водопритоки в шахты, расположенные вблизи г. Артема, не превышают 165 м³/ч. По составу преобладают пресные воды гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-хлоридные натриевые либо кальциевые с минерализацией до 0,5 г/л. Они обладают выщелачивающей и углекислотной агрессивностью. С глубиной минерализация вод возрастает до 5 г/л и воды, как правило, становятся неагрессивными.

Современные геологические процессы и явления

Одним из наиболее развитых геологических процессов является выветривание. Скорость выветривания в условиях Приморья и особенно в его южной части значительна. Об этом свидетельствует выветрелость пород береговых клифов, достигающая в некоторых местах десятков метров.

Овражообразование развито преимущественно на рыхлых кайнозойских отложениях. Наиболее интенсивно этот процесс протекает в периоды ливневых осадков, когда в устьевых частях оврагов образуются гравийно-галечные конусы выноса. Глубины оврагов не превышают нескольких метров, но иногда достигают 10—15 м. Сплошная залесенность территории и неглубокое залегание прочных докайнозойских пород препятствуют росту оврагов, в связи с чем в них преобладает боковая эрозия. Овраги возникают чаще всего в результате нарушения растительного покрова, связанного с деятельностью человека (вдоль грунтовых дорог, при распашке пологих поверхностей, при снятии дерна или вырубке леса и др.). Развитие оврагов затухает, как правило, со вскрытием докайнозойских пород.

Оползневые процессы развиты в основном на базальтах и андезито-базальтах и приурочены к краевым частям плато, где базальты залегают на палеоген-неогеновых глинистых отложениях и прорезаны речной сетью на полную мощность (Кудров, 1971). Оползневые склоны достигают длины 5—7 км, ширины 3—4 км, а отдельные сползшие блоки могут быть длиной 100—500 м при ширине до нескольких сотен метров. По вертикали амплитуда смещения иногда превышает 100 м. Оползневые тела представлены преимущественно глыбами и щебнем с суглинками. Оползни на базальтах возникают после интенсивных ливней или продолжительных дождей и иногда подпруживают водотоки, перегораживают дороги и др.

Карст, как и карстующиеся породы, распространен в регионе ограниченно и приурочен к рифогенным верхнепермским известнякам терригенно-карбонатной формации, выходящим на дневную поверхность небольшими разобщенными друг от друга участками, в основном вдоль бортов долин рек Артемовки и Партизанской. Карстовые пустоты представлены в виде узких каналов и пещер. В долинах рек карстовые полости, как правило, выполнены доломитовой мукой или глинистым материалом и перекрыты голоценовыми аллювиальными отложениями. Водопроводимость таких пустот очень низкая. В Приморском крае выделяется только одна сейсмически опасная зона с возможными землетрясениями силой 7 баллов и более (Органов, 1953) — это район городов Находки и Партизанска. Подчиненное значение в регионе имеют: абразия, широко распространенная на островах и мысах, вдающихся в море; пучение, развитое на дорогах и в шахтах буроугольных месторождений (Целигоров, 1949); подмыв берегов и другие процессы.

СИХОТЭ-АЛИНСКИЙ РЕГИОН

Регион охватывает горную страну Сихотэ-Алинь и является частью одноименной складчатой системы.

Сихотэ-Алинская горная система состоит из серии хребтов преимущественно северо-восточного направления, разделенных продольными и поперечными долинами. Главный водораздел имеет в плане извили-

тую форму, смещен на восток и удален от побережья Японского моря на 20—150 км. Преобладают денудационно-эрозионные массивные горы с абсолютными высотами 500—1000 м на юге и в центральной части региона и 1200—1400 м на севере. Для осевых частей хребтов, поднимающихся выше 1300—1400 м, характерны гольцовые формы.

Реки региона подразделяются на две большие группы: стекающие с восточных склонов Сихотэ-Алиня и принадлежащие бассейну Японского моря (Тумнин, Самарга, Кема и др.) и стекающие с западных склонов горной страны и принадлежащие бассейнам рек Уссури и Амура (Большая Уссурка, Бикин, Хор и др.). Реки восточного склона Сихотэ-Алиня короткие, типично горные, в основном с узкими долинами, быстрым течением и водопадами, с крайне неустойчивым режимом. В зимний период (ноябрь—март) расход рек очень небольшой и составляет лишь несколько процентов годового. В это время многие малые реки промерзают до дна.

В целом для региона характерен муссонный климат. Существенную роль в распределении тепла играет хр. Сихотэ-Алинь. Простираясь с юго-запада на северо-восток, он представляет собой естественный барьер на пути муссонных ветров как в зимний, так и в летний периоды и этим обусловливает различный температурный режим на восточных и западных склонах. В с. Журавлевке (западные склоны Сихотэ-Алиня) средняя температура зимы минус 21°, а в пос. Пластун (восточные склоны), расположенном на той же широте, только минус 10,1°. Летом средняя температура на западе +18,6, на востоке +15,6°. Атмосферные осадки как по площади, так и по времени распределяются крайне неравномерно. На близкие к побережью районы приходится до 800 мм осадков в год, на горно-долинные — до 1000 мм. В отдельные годы количество осадков уменьшается соответственно до 300 и 400 мм. В зимний период выпадает не более 15—17% осадков, в летне-осенний период — 70%. В июле — августе осадки чаще всего выпадают в виде ливней (за один ливень до 200—250 мм). Из-за малой мощности снежного покрова земля промерзает на юге до 1,5 м, на севере — до 2—2,5 м.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

В тектоническом отношении регион совпадает с частью Сихотэ-Алинской складчатой системы и включает, по И. И. Берсеневу, следующие структурно-формационные зоны: Главный антиклинорий, Главный синклинорий, Прибрежную и Бикинскую зоны. Особенностью описываемой структуры, возникшей в силур — девоне на раздробленном складчатом фундаменте, является ее полициклическое развитие (Красный, 1961, 1970; Смирнов, 1964 и др.). В ранний (палеозойский) цикл развития в заложившемся Центрально-Сихотэ-Алинском геосинклинальном прогибе (раннегеосинклинального терригенно-кремнисто-вулканогенного типа, по Л. И. Красному) накапливались отложения терригенной сероцветной (силур — девон), терригенно-кремнисто-вулканогенной (ранний карбон, ранняя пермь) и терригенно-карбонатной (карбон, ранняя пермь) формаций. С формированием терригенно-кремнисто-вулканогенной формации ранней перми сопряжено внедрение интрузий основного состава (габбровая формация). В начале поздней перми произошла дифференциация Центрально-Сихотэ-Алинского прогиба, обособление Центрального антиклинория (поднятия), тогда как в остаточных позднегеосинклинальных прогибах продолжали накапливаться

песчано-глинистые флишоидные отложения (терригенная флишоидная формация). Со складчатыми движениями поздней перми связано формирование гранитоидной формации.

Мезозойско-кайнозойский цикл развития в пределах региона проявился наиболее полно. В результате геосинклинального прогибания (триас—валанжин) возникли крупные сложные прогибы, в которых накапливались терригенная сероцветная (триас — средняя юра, ранний мел), вулканогенно-кремнисто-терригенная (поздний триас и поздняя юра) и терригенно-кремнистая (триас — средняя юра) формации. Складчатые движения в юре привели к дифференциации раннегеосинклинальных прогибов и образованию крупных антиклинальных поднятий и впадин синклинального типа и сопровождались на границе средней и поздней юры внедрением щелочной гипербазит-габбровой формации. В дальнейшем в пределах поднятий происходило накопление грубообломочных отложений, а в более прогнутых частях — песчано-глинистых флишоидных отложений (терригенная флишоидная формация). Со складчатыми движениями раннего мела (главная фаза складчатости), в результате которых на большей части территории установился континентальный режим, сопряжено формирование гипербазит-габбровой и гранитоидной формаций. В остаточных позднегеосинклинальных прогибах продолжали накапливаться терригенная и вулканогенно-терригенная флишоидные формации, а в пределах ранее консолидированных участков — вулканогенно-терригенная и терригенная молассовые формации. Сенонские складчатые движения привели к полной ликвидации Сихотэ-Алинской геосинклинали и усилению вулканической деятельности, в результате которой сформировались андезитовая, липаритовая и вулканогенно-терригенная молассовые формации и сопряженная с ними гранитоидная формация позднемелового-раннепалеогенового возраста.

В палеогене и неогене на отдельных участках возникли межгорные впадины, которые заполнились грубообломочными и вулканогенными породами (терригенная и вулканогенно-терригенная молассовые формации). В четвертичное время был сформирован чехол рыхлых отложений аллювиального и склонового генезиса.

Терригенная (глинистая) сероцветная формация силур-девонского и позднекарбонового возраста развита ограниченно в зоне Главного антиклинория и представлена снизу (силур—девон) филлитизированными глинистыми сланцами с прослоями углисто-глинистых и песчано-глинистых сланцев, мраморизованных известняков микрокварцитов, песчаниками, кремнистыми породами, переслаивающимися со сланцами. Мощность пачек сланцев 20—40 м, прослоев кремнистых пород до 15 м. Общая мощность нижней части отложений до 5000 м. В составе позднекарбоновых отложений принимают участие массивные окремненные алевролиты, переслаивающиеся с кремнистыми породами и реже с порфиритами и рассланцованными туфами. Мощность верхней части формации до 1100 мм.

Отложения формации смяты в узкие линейные, нередко опрокинутые складки, близ разломов будинированы, рассланцованы и катаклазированы. В инженерно-геологическом отношении породы не изучены.

Терригенно-вулканогенная формация каменноугольно-пермского возраста широко распространена во всех структурно-формационных зонах. Отложения каменноугольного возраста представлены окремнелыми алевролитами, кремнистыми породами мощностью 5—35 м, спилитами, диабазовыми порфиритами мощностью 10—150 м, их туфам, туффитами, переслаивающимися с кремнистыми

породами, песчаниками, алевролитами и линзами известняков мощностью до 50 м. Соотношения вулканогенных, кремнистых и терригенных пород в разрезах чрезвычайно изменчивы, мощности отдельных прослоев не выдержаны на площади. Мощность всей формации до 4500 м. В разрезах нижнепермских отложений (Прибрежная и Бикинская зоны) увеличивается содержание туфов и туфобрекчий, а мощности известняков уменьшаются до 5—10 м. Верхнепермские отложения (Главный синклинорий) представлены диабазовыми порфиритами, их туфами, яшмами, глинистыми сланцами, мраморизованными известняками, песчаниками, алевролитами, конглобрекчиями. Общая мощность пермских отложений формации превышает 6000 м.

Отложения смяты в узкие складки с крутыми (70—90°), часто опрокинутыми крыльями, будинированы, рассланцованы или раздроблены. Породы формации в массиве до глубины 40—60 м трещиноваты. Особенно интенсивно трещиноватость проявляется до глубины 5—7 м. Ниже этой зоны породы (по единичным определениям 2-го ГГУ) очень крепкие, плотные с высокой несущей способностью. Диабазы, порфириты, кислые эффузивы, кремнистые породы, некоторые разновидности песчаников плотностью 2,65—3 г/см^3; объемной массой до 2,85 г/см^3; пористостью 0,56—4,5%. Водопоглощение 0,3—2,8%; временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $900 \cdot 10^5$—$2100 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $800 \cdot 10^5$ — $1785 \cdot 10^5$ Па. Износ в барабане Деваля 2,5—3,5%. Прочность вывстрелых разностей, а также рассланцованных и будинированных пород значительно снижается (временное сопротивление сжатию не более $600 \cdot 10^5$ Па). Большинство образцов после испытаний на морозостойкость не претерпело никаких изменений, однако некоторые из них разрушались после 10 циклов. Менее прочны туфопесчаники, сланцы туфогенные, алевритистые и филлитовидные, алевролиты, характеризующиеся пористостью до 4%, водопоглощением от 0,06% у сланцев до 2% у туфопесчаников. Временное сопротивление сжатию их в сухом состоянии $500 \cdot 10^5$ — $660 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — до $500 \cdot 10^5$ Па.

Терригенно-карбонатная формация (включая рифогенную формацию г. Зарод) каменноугольного—раннепермского возраста общей мощностью до 1100 м развита преимущественно в Прибрежной зоне. Формация представлена известняками, кремнистыми породами, кремнисто-глинистыми и глинистыми сланцами с кремнистыми брекчиями, алевролитами, участками рассланцованными и развальцованными. Известняки мощностью 10—50 м, реже до нескольких сотен метров, местами изменены до состояния мраморов, доломитизированных и окварцованных. Редко отложения содержат прослои спилитов. Мощность прослоев кремнистых пород до 30 м, кремнисто-известковистых и кремнистых до 15, песчаников и алевролитов до 4 м, пачек переслаивания от 50 до 300 м. Мощность рифогенной формации 200—300 м, максимальная мощность достигает 700 м.

Породы формации смяты в крутые линейные складки, осложненные мелкой складчатостью, гофрировкой и плойчатостью. Вблизи разломов складки часто запрокинутые, а породы рассланцованы и раздроблены.

В инженерно-геологическом отношении породы формации изучены слабо. Терригенные и кремнистые породы по своим прочностным свойствам близки аналогичным породам терригенно-кремнисто-вулканогенной формации. Известняки (по единичным определениям 2-го ГГУ) характеризуются временным сопротивлением сжатию в сухом состоянии $1100 \cdot 10^5$—$1200 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $1000 \cdot 10^5$—$1150 \cdot 10^5$ Па.

В приповерхностной зоне они легко поддаются воздействию экзогенных процессов, поэтому в массивах рифогенных известняков широко развиты карстовые процессы.

Терригенная флишоидная формация позднепермского возраста развита ограниченно в пределах Главного антиклинория и представлена пачками переслаивания (15—60 м) песчаников слюдистых либо известковистых и алевролитов. Мощность прослоев от 2 до 20 см, реже достигает 4 м. Общая мощность отложений 1300—2000 м. Отложения интенсивно дислоцированы, в них так же, как и в более древних отложениях, отмечаются рассланцевание, катаклаз и будинаж. В инженерно-геологическом отношении породы формации не изучены.

Терригенная (песчано-глинистая) сероцветная формация триасового-среднеюрского и раннемелового (валанжин) возраста широко представлена во всех структурно-формационных зонах, за исключением Бикинской. Это чередование мощных пачек (до 400 м, реже до 900 м) существенно песчаникового либо алевролитового состава, в строении которых, кроме того, принимают участие глинистые сланцы, кремнистые алевролиты, кремни, аргиллиты, кремнистые конгломераты. Среди поздиетриасовых отложений (зона Главного антиклинория) отмечаются кремнистые породы и брекчии с известковистым цементом, а также прослои (возможно, силлы) порфиритов и их туфов. Общая мощность формации не менее 5000 м.

Отложения смяты в узкие линейные складки с падением слоев на крыльях до 60—80°, часто опрокинутые. В песчано-сланцевых и алевролитовых толщах отмечается мелкая гофрировка и плойчатость; местами породы будинированы и рассланцованы. До глубины 40—50 м трещиноваты. Трещины горизонтальные или беспорядочно ориентированы, открытые, иногда заполнены мелкоземом, кварцем, кальцитом. Наиболее прочными являются песчаники и особенно с кремнисто-глинистым цементом. Они характеризуются (по единичным определениям 2-го ГГУ) плотностью 2,62—2,74 г/см^3; объемной массой 2,54—2,56 г/см^3; пористостью до 2% и водопоглощением 0,18—0,49%. Временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $1340 \cdot 10^5$ — $3221 \cdot 10^5$ Па, после замораживания — $1310 \cdot 10^5$ — $2508 \cdot 10^5$ Па. Алевролиты, аргиллиты, кремнисто-глинистые сланцы пористостью до 3%, водопоглощением 0,34—0,76% и временным сопротивлением сжатию в сухом состоянии $1219 \cdot 10^5$ — $1400 \cdot 10^5$ Па, в некоторых сильно рассланцованных разностях не превышающим $400 \cdot 10^5$ Па, после замораживания до $625 \cdot 10^5$ — $1197 \cdot 10^5$ Па.

Вулканогенно-кремнисто-терригенная формация позднетриасового-позднеюрского возраста развита во всех структурно-формационных зонах, но особенно в Прибрежной и Бикинской. В позднетриасовом разрезе формации Прибрежной зоны наблюдается пестрый комплекс кремнисто-карбонатно-терригенных пород и вулканитов мощностью от 400 до 900 м, представленных пачками переслаивания песчаников и алевролитов (30—75 м), известняками (20—165 м), спилитами, диабазами, порфиритами (35—45 м), кремнистыми породами, содержащими тонкие прослои песчаников и алевролитов (70—190 м). В верхней части толщи отмечаются мощные пачки известняков (до 400—500 м), почти повсеместно подстилаемые спилитами и диабазами. Известняки быстро выклиниваются, замещаясь кремнистыми и кремнисто-глинистыми породами. В Бикинской зоне в основании формации залегают вулканиты, верхние части разрезов представ-

лены переслаиванием туфов, песчаников и кремнистых сланцев общей мощностью до 2000 м. Юрские (нерасчлененные) отложения формации в зоне Главного синклинория представлены алевролитами, глинистыми сланцами, песчаниками, кремнистыми породами с подчиненными прослоями спилитов и известняков общей мощностью до 1300 м.

Значительно увеличивается роль вулканогенных образований в отложениях юры Бикинской зоны и особенно в зоне Главного антиклинория. Там отложения представлены туфами мелкообломочными и пепловыми, обычно массивными, иногда грубослоистыми с лапиллями и бомбами, туфобрекчиями субщелочных базальтоидов, с маломощными прослоями порфиритов и спилитов. Породы интенсивно карбонатизированы; вблизи поверхности, до глубины 5—6 м, карбонатный материал выщелочен и породы превращены в красновато-бурую дресву. Для верхней части толщи характерно резкое преобладание грубопирокластического материала, для нижней — преобладание эффузивно-осадочных пород. Общая мощность юрских отложений до 8000 м.

Отложения формации смяты в крутые (40—60°), но более широкие по сравнению с палеозойскими отложениями складки, осложненные многочисленными разломами; местами отмечаются зоны рассланцованных и брекчированных пород мощностью до 800—1000 м. Породы в массиве трещиноваты до глубины 60 м, но особенно интенсивно до 30 м. Трещины различных направлений, притертые, реже открытые до 3 см, повторяются через 10—15 см. Наибольшей устойчивостью в экзогенных процессах отличаются массивные кремнистые породы и сланцы, характеризующиеся (по единичным определениям 2-го ГГУ) временным сопротивлением сжатию в сухом состоянии до $1600 \cdot 10^5$ Па. Аргиллиты, алевролиты, рассланцованные кремнисто-глинистые сланцы характеризуются в 2—3 раза меньшими значениями, а вблизи дневной поверхности их временное сопротивление сжатию не более $50 \cdot 10^5$ Па.

Терригенно-кремнистая формация триасового—среднеюрского возраста пользуется преимущественным распространением в Прибрежной зоне и зоне Главного синклинория. В составе формации существенная роль принадлежит кремнистым породам, представленным массивными кремнями (60—100 м), кремнистыми брекчиями с маломощными прослоями песчаников, гравелитов и алевролитов (120—150 м), конгломерато-брекчиями (до 100 м), пачками переслаивания (1—10 м) яшмовидных сургучно-красных кремнисто-пепловых алевропелитов с маломощными прослоями туфогенных алевролитов и полимиктовых песчаников. Кремнистые пачки чередуются в разрезах с песчаниками (5—100 м), алевролитами (10—30 м), пачками переслаивания песчаников и алевролитов (до 400 м) и иногда с прослоями диабазовых порфиритов. Отложениям в целом свойственна некоторая туфогенность. Общая мощность их 5000—8000 м.

Отложения смяты в узкие линейные складки с углами падения крыльев 60—90°, часто опрокинутые. В песчано-сланцевых толщах отмечается мелкая плойчатость и гофрировка; дополнительная складчатость с будинажем и рассланцеванием отмечается в ядрах складок. Породы формации трещиноваты до глубины 25—50 м. Несмотря на большое количество трещин по напластованию и значительное рассланцевание, они в массиве устойчивы к экзогенным процессам. Это объясняется большим содержанием в разрезе кремнистых пород и наличием кремнистого цемента. По своим инженерно-геологическим свойствам породы формации близки породам вулканогенно-кремнисто-терригенной формации, с которой сходны по условиям осадконакопления и примерно одинаковой степени дислоцированности.

Терригенная флишоидная формация позднеюрского-мелового возраста и вулканогенно-терригенная флишоидная формация мелового возраста. Первая широко развита в Прибрежной зоне и зонах Главного антиклинория и Главного синклинория. Она сложена ритмично переслаивающимися песчаниками и алевролитами. По характеру ритмичности и соотношению между песчаниками и алевролитами отдельные части разреза резко отличаются друг от друга. Мощность пачек с преобладанием крупных ритмов 3—30, реже до 80—100 м (в крупных ритмах преобладают песчаники до 80%), мощность пачек мелких ритмов 0,05—0,5, реже до 2 м (соотношение пород в них чаще равное). Нередко в строении ритмов принимают участие аргиллиты, гравелиты, в основании разрезов часто встречаются горизонты базальных конгломератов, с линзами гравелитов и разнозернистых песчаников мощностью до 300 м. Максимальная мощность отложений 2500 м (зона Главного синклинория).

Вулканогенно-терригенная флишоидная формация ограниченно распространена в центральной части Главного синклинория. Нижняя часть формации сложена ритмично переслаивающимися песчаниками, алевролитами и гравелитами. Мощность пачек гравелитов от 0,3 до 2 м; песчаников 0,3, реже до 4 м, алевролитов и песчанистых алевролитов 0,1—0,3 м. Мощность ритмов 6—10 м, реже менее. Мощность нижней части формации до 2200 м.

В верхней части формации мощностью до 2000 м преобладают алевролиты (мощность пачек 10—200 м) с подчиненными прослоями гравелитов и песчаников. Мощность ритмов 3—6 м, прослои гравелитов мощностью до 0,5—1 м, песчаников 1—4, алевролитов до 2 м. В верхах разреза присутствуют туфы и лавы порфиритов, туфоконгломераты. Максимальная мощность формации до 4500 м.

Отложения флишоидных формаций смяты в серию линейных, но широких складок с углами падения пород на крыльях 40—60, реже 10—15°, осложненных многочисленными разломами. В массиве породы формации трещиноваты до глубины 30—50 м. Наиболее прочными являются песчаники, особенно ороговикованные (по единичным определениям 2-го ГГУ) с временным сопротивлением сжатию в сухом состоянии $1981 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — до $1402 \cdot 10^5$ Па, после замораживания $1380 \cdot 10^5$ Па. Некрепкие, часто размокаемые в приповерхностной зоне алевролиты и аргиллиты очень ослабляют прочностные свойства пород в массиве.

Габбровая и гипербазит-габбровая формации раннепермского и мелового возраста и щелочная гипербазит-габбровая формация юрского возраста развиты главным образом в пределах Главного антиклинория и представлены габбро, габбро-диоритами, пироксенитами, щелочными нефелинсодержащими породами основного состава, реже сиенитами и аляскитами, слагающими массивы сложного зонального строения. Преобладающая форма массивов штокообразная либо пластообразная протяженностью до 40 км. Интрузии щелочной гипербазит-габбровой формации, несмотря на незначительные размеры (до 10—15 км^2), окружены широким (до 5 км) ореолом контактово-измененных пород. Интрузивные породы, в свою очередь, подвержены интенсивному зеленокаменному изменению и щелочному метасоматозу, которые сопровождаются катаклазом и бластезом. В инженерно-геологическом отношении породы формаций в массиве не изучены. Габбро-габбро-диориты, пироксениты характеризуются (по единичным определениям 2-го ГГУ)

плотностью 2,68—3,3 г/см^3; объемной массой 2,64—2,8 г/см^3; пористостью 1,2—1,8% и водопоглощением 0,1—0,4%. Временное сопротивление сжатию их в сухом состоянии $1075 \cdot 10^5$ Па. Износ в барабане Деваля 2,4—6,5%.

Вулканогенно-терригенная и терригенная молассовые формации мелового возраста широко развиты во всех структурно-формационных зонах. Первая распространена преимущественно в Прибрежной и Бикинской зонах и объединяет морские и континентальные отложения, представленные пачками переслаивания песчаников и алевролитов, туффитами, туфоалевролитами и туфопесчаниками с флорой, туфогенными конгломератами, туфами с прослоями эффузивов среднего и кислого состава. Общая мощность отложений до 2200—2500 м. Вторая представлена базальными конгломератами, гравелитами, грубозернистыми песчаниками, выше сменяющимися пачками переслаивания песчаников и алевролитов (мощностью до 170—200 м) с прослоями туфогенных песчаников и линзами растительного детрита (зона Главного антиклинория), реже с линзами глинистых известняков и редкими маломощными силлами порфиритов (зона Главного синклинория), а также прослоями кремнистых и кремнисто-глинистых пород (Бикинская зона). Общая мощность отложений 2500—3500 м, максимальная достигает 4500 м (зона Главного синклинория).

Породы терригенно-вулканогенной и терригенной молассовых формаций смяты в брахиформные складки с углами падения на крыльях 10—25°; местами отложения дислоцированы не менее интенсивно, чем нижележащие толщи геосинклинальных формаций. В массиве породы формаций трещиноваты до глубины 40—50 м. Густота трещин в среднем 3—5 на 1 м.

Песчаники с прослоями кремнистых пород и туфы псаммитовой размерности обладают (по единичным определениям 2-го ГГУ) высокой прочностью: временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $1080 \cdot 10^5$—$2500 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $900 \cdot 10^5$—$1100 \cdot 10^5$ Па, после замораживания $850 \cdot 10^5$ — $1000 \cdot 10^5$ Па. Порфириты, лавобрекчии порфиритов, андезито-дациты и другие плотностью 2,6—2,75 г/см^3 и объемной массой 2,5—2,65 г/см^3 характеризуются пористостью до 6%, водопоглощением 0,2—0,7%. Временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $860 \cdot 10^5$ — $2170 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $400 \cdot 10^5$ — $600 \cdot 10^5$ Па, после замораживания $300 \cdot 10^5$ — $600 \cdot 10^5$ Па. Высокие значения пористости сохраняют и туфы агломератовой размерности и туфоконгломераты, у которых временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $880 \cdot 10^5$ — $1070 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $500 \cdot 10^5$ — $640 \cdot 10^5$ Па и после замораживания $550 \cdot 10^5$ Па. Алевролиты, аргиллиты и туффиты на глинистом цементе, обогащенные растительным детритом, обладают прочностью в 2—3 раза меньшей, чем описанные выше разности. Иногда временное сопротивление сжатию может достигать $400 \cdot 10^5$ — $1400 \cdot 10^5$ Па, а в приповерхностной зоне выветривания не превышает $40 \cdot 10^5$ — $80 \cdot 10^5$ Па. Износ в барабане Деваля от 2,1 до 5,8 (порфириты) до 6,8—8,7% (лавобрекчии).

Андезитовая и липаритовая формации позднемелового-раннепалеогенового возраста наиболее распространены в Прибрежной зоне. В составе андезитовой формации отмечаются две толщи. Нижняя сложена андезитовыми порфиритами, их туфами, туфобрекчиями, туфами смешанного состава, туффитами, туфоалевролитами и туфопесчаниками, часто с включениями растительного детрита. Мощность толщи до 800 м. Верхняя представлена андезитами с прослоями и линзами туфов кислого и среднего состава, туф-

фитов и алевролитов. Преобладающая мощность толщи до 400 м. Более распространенная липаритовая (порфировая) формация представлена туфами и туфобрекчиями кварцевых порфиров, переслаивающимися с туффитами, туфопесчаниками, туфоалевролитами, реже конглобрекчиями. В основании формации нередко залегают крупные, иногда гигантские глыбы подстилающих пород, достигающие нескольких сотен метров в поперечнике. Изредка встречаются прослои туфогенно-осадочных пород и линзы витроандезитов. Верхние части формации сложены кварцевыми порфирами, фельзит-порфирами (липаритами), кварцевыми плагиопорфирами, их туфами и туфобрекчиями. Общая мощность формации до 800 м.

Породы вулканогенных формаций собраны в пологие брахиформные складки с углами падения крыльев 10—15°, реже до 40°, слагают наиболее возвышенные участки рельефа. Породы формации в массиве, несмотря на значительную трещиноватость, связанную с разрывной тектоникой, относятся к очень крепким и прочным, они успешно противостоят денудации и другим экзогенным процессам. Вулканиты характеризуются (по единичным определениям 2-го ГГУ) плотностью 2,75—2,95 г/см^3; пористостью 0,9—2,9%; водопоглощением 0,1—1,05% и коэффициентом размягчения 0,8—0,93. Временное сопротивление сжатию их в сухом состоянии $800 \cdot 10^5$ — $2520 \cdot 10^5$ Па. Выветрелые разности также обладают высокой прочностью: временное сопротивление сжатию не менее $600 \cdot 10^5$ Па.

Терригенная и вулканогенно-терригенная молассовые формации кайнозойского возраста, сформированные в условиях наложенных впадин, объединяют практически недислоцированные породы. Они представлены конгломератами слабо уплотненными, гравийниками, песками, глинами, алевролитами с прослоями туфов, туффитов, линзами растительного детрита. Иногда среди терригенных пород отмечаются прослои вулканитов основного, среднего или кислого состава. Мощность отложений до 300 м. В инженерно-геологическом отношении отложения формаций не изучены.

Базальтовая формация эоценового возраста распространена ограниченно и представлена андезито-базальтами, базальтами и андезитами, слагающими небольшие покровы мощностью до 300 м. В инженерно-геологическом отношении породы формации не изучены, подробная их характеристика приведена в Восточно-Сихотэ-Алинском регионе, где они широко развиты.

Гранитоидная формация широко распространена во всех структурно-формационных зонах, но особенно в зоне Центрального структурного шва. Она представлена интрузивными образованиями мелового и палеогенового и в меньшей степени позднепермского возраста (Главный антиклинорий). В ее составе отмечаются граниты, гранодиориты, монцонитоиды и реже габбро-диориты, слагающие различные по величине массивы, среди которых различаются интрузии зон крупных разломов, интрузии складчатых структур и приповерхностные. Первые удлиненной формы, с крутыми контактами и небольшой площадью (до 150 км^2).

Интрузивные тела складчатых структур чаще округлой формы и неправильно изометричной с плоской кровлей и значительной площадью, достигающей 400—500 км^2 и более. Приповерхностным интрузиям (позднемеловым и палеогеновым) свойственны формы штоков, силлов и лакколитов с переходами к дайкам и покровам, сложенным породами субвулканического облика: диорит-порфиритами, гранодиорит-порфирами, гранит-порфирами и др. Интрузии, особенно палеоге-

новые, окружены обширными ореолами контактово-измененных пород (до 7 км). На контактах массивов отмечена закалка вмещающих и интрузивных пород, придающая им сливной эффузивноподобный облик. Площадь развития контактово-измененных пород нередко превышает выходы интрузивных образований.

Породы формации интенсивно трещиноваты в интервале глубин до 40—60, реже 100 м. Трещины преимущественно вертикальные, реже горизонтальные, открытые. В многочисленных зонах тектонических нарушений породы интенсивно раздроблены и рассланцованы, к ним приурочены широко развитые в регионе линейные коры выветривания. Массивные невыветрелые гранитоиды (10 определений 2-го ГГУ) плотностью 2,65—2,8 г/см^3; объемной массой 2,5—2,77 г/см^3; пористостью 0,5 — 3% и водопоглощением 0,1—0,88%. Временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $2000 \cdot 10^5$ — $3000 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $1900 \cdot 10^5$ — $2500 \cdot 10^5$ Па (чаще свойственно позднемеловым гранитоидам) в палеозойских и сильновыветрелых меловых снижается до $520 \cdot 10^5$ — $100 \cdot 10^5$ Па в сухом состоянии и до $750 \cdot 10^5$ Па в водонасыщенном.

Аллювиальные отложения плейстоцена и голоцена слагают поймы, I и II надпойменные террасы. Фрагментарно встречаются и более высокие террасы. Общая мощность отложений 10—20, иногда до 50 м. Для аллювия характерны четкая двучленность профиля и ясно выраженная фациальная смена состава снизу вверх. В низах разреза распространены гравийно-галечниковые отложения. В верхней части — пески с примесью гравия, гальки и супеси, реже суглинки. Отмечается изменение состава аллювия и вниз по течению. Так, в верховьях распространены галечниково-валунно-глыбовые отложения, которые быстро сменяются галечниковыми, гравийно-галечниковыми и песчано-гравийно-галечниковыми. С поверхности в среднем и нижнем течении распространены сильнопесчанистые пойменные суглинки мощностью от 0,5 до 2—3 м. Аллювиальные отложения отличаются высокой плотностью, низкой пористостью даже для суглинистых грунтов, что связано со спецификой их формирования.

Делювиально-коллювиальные и элювиально-делювиальные отложения позднего плейстоцена-голоцена сплошным чехлом покрывают склоны и вершины гор. Мощность их на водоразделах не превышает 2—4 м, на склонах возрастает до 10 м, у подножия — до 25—50 м.

На породах терригенной формации отложения представлены остроугольным щебнем; на гранитах—глыбами размером 0,5—1 м, на палеозойских гранитах — дресвой; на базальтах — крупными глыбами диаметром от 1 до 3 м. Заполнитель чаще тяжело- и среднесуглинистый, иногда супесчаный. Процентное содержание его уменьшается сверху вниз от 20 до 60—70%. Мощность мелкоземистого элюво-делювия на склонах средней крутизны не превышает 0,2—0,3 м; на пологих достигает 0,5 м; на водоразделах базальтовых плато достигает 2—3 м. Пористость делюво-коллювия уменьшается с глубиной. Естественная влажность суглинистого слоя зависит от климата: на восточных склонах и на севере она наиболее высокая (до 25—35%), на южных — минимальная (18—20%). Консистенция суглинков на северном Сихотэ-Алине чаще пластичная, в центральном и южном—тугопластичная и полутвердая.

На крутых склонах обычно развиты гравитационные отложения. Это чаще глыбовые или глыбово-щебнистые закрепленные осыпи мощностью до 10—20 м. В южных районах наблюдается их медленное смещение вниз по склону.

Гидрогеологические условия

В пределах Сихотэ-Алинского региона развиты преимущественно грунтовые подземные воды. По влиянию на инженерно-геологические условия территории их можно разделить на два типа: подземные воды четвертичных отложений и подземные воды верхней трещиноватой зоны, интрузивных контактов и тектонических нарушений.

Среди подземных вод четвертичных отложений аллювиальные воды развиты наиболее широко. Глубина до воды в аллювиальных водоносных горизонтах, как правило, изменяется в пределах 1—2,5 м (не превышая 4 м) для I террасы и 4—6 м (не превышая 9 м) для II террасы. Водообильность аллювия колеблется в больших пределах. Обычно удельные дебиты скважин составляют 1—2 л/с, редко 30 л/с. Также широко изменяются и коэффициенты фильтрации (от 1 до 300 м/сут и более). По химическому составу воды чаще гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией 0,05—0,5 г/л при общей жесткости, не превышающей 3 мг·экв/л.

Воды аллювиально-морских четвертичных отложений развиты в приустьевых частях рек, впадающих в море, а воды делювиальных и склоновых образований и воды оползневых накоплений — в периферийных частях базальтовых покровов. Все они мало чем отличаются от аналогичных вод других районов юга Дальнего Востока и охарактеризованы при описании Арсеньевского региона.

Воды в дочетвертичных осадочных и магматических породах приурочены к трещиноватой зоне выветривания и к трещиноватым зонам, связанным с тектоническими нарушениями и интрузивными контактами. Они широко развиты в пределах рассматриваемого инженерно-геологического региона. Глубина залегания вод изменяется в широких пределах: от нескольких метров (в нижних частях склонов) до нескольких десятков метров в верхних частях склонов и на водоразделах. Воды, вскрываемые в зонах тектонических нарушений (обычно на глубинах 50—100 м), как правило, напорные. Водообильность дочетвертичных пород в общем слабая. Наибольшей водообильностью из докайнозойских пород характеризуются гранитоиды (особенно их приконтактовые зоны) и карбонатные закарстованные породы.

Подземные воды трещиноватых зон по химическому составу чаще всего близки к атмосферным водам и обладают агрессивностью выщелачивания.

Современные геологические процессы и явления

Согласно схеме сейсмического районирования Приморского края (Органов, 1953) Прибрежная антиклинальная зона относится к территории, где возможны землетрясения силой до 6, реже 7 баллов. Землетрясения этого района связаны с Восточным Сихотэ-Алинским сейсмически активным структурным швом, проходящим по бровке шельфа Японского моря параллельно восточной границе рассматриваемого региона. Остальная территория относится к 4—5-балльной сейсмической области. Не исключены в регионе и более сильные землетрясения, что связано с сейсмически активным окружением.

Одним из наиболее распространенных в регионе современных геологических процессов является выветривание. Почти все литифицированные породы, выходящие на поверхность, в той или иной степени за-

тронуты выветриванием. Коры выветривания начали развиваться с момента завершения складчатости и продолжают формироваться в настоящее время. В Сихотэ-Алине кора выветривания не получила площадного развития, так как в горных условиях с преобладанием положительных движений скорость денудации, как правило, значительно превышает скорость корообразования. Наиболее широко развиты коры выветривания линейного типа, приуроченные к контактам между породами различного петрографического состава, к тектоническим зонам и магматическим образованиям преимущественно дайково-жильного типа. Мощности линейных кор выветривания достигают нескольких метров, реже достигают 10—15 м.

Заболачивание распространено в регионе слабо и приурочено чаще всего к тыловым частям плейстоценовых аллювиальных террас. Болота верхового типа располагаются и на выровненных поверхностях базальтовых плато, где они охватывают площади до нескольких сотен квадратных метров. Наиболее интенсивно этот процесс проявляется в летне-осенний период.

Развитие оврагов в регионе носит локальный характер и связано с глинистым составом отложений. Учитывая, что прочные дочетвертичные сильно литифицированные породы залегают близко от поверхности, рост оврагов быстро прекращается. Глубина их не превышает 2—5 м при ширине поверху до 1—3 м.

В регионе широко развиты осыпи. Они образуются на крутых (свыше 30—35°) склонах и приурочены чаще всего к магматическим, реже осадочным породам. Закрепленные осыпи известны в основном на западных склонах Сихотэ-Алиня, незакрепленные — на восточных. Однако, несмотря на широкое распространение, размеры осыпей невелики, а сами осыпи распространены локально.

Карст, как и карстующиеся породы, развит в регионе слабо. Он приурочен к рифогенным карбон-пермским известнякам, а также к карбонатным триасовым породам вблизи пос. Дальнегорска. В основном карстовые пустоты небольших размеров, преимущественно в виде узких каналов. В ряде случаев, когда карст вскрывается на глубинах свыше 70 м, пустоты оказываются закальматированы доломитовой мукой или глинистым часто литифицированным материалом.

Абразия, суффозия, подмыв берегов и другие современные геологические процессы развиты в регионе локально и занимают ничтожные площади, а следовательно, и влияние их на инженерную деятельность человека невелико.

НИЖНЕ-АМУРСКИЙ РЕГИОН

Регион расположен в низовьях Амура, слабо заселен и почти не освоен. Это преимущественно низкогорная страна с участками среднегорья и многочисленными межгорными равнинами, приуроченными к древним впадинам (рис. 49). Средневысотные горы с абсолютными отметками до 1600 м сложены интрузивными или вулканогенными образованиями и характеризуются массивными формами рельефа, крутыми выпуклыми склонами (40—50°), многочисленными осыпями, россыпями, скалистыми гребнями.

Низкие горы и предгорья с абсолютными отметками 200—800 м и относительными превышениями 20—100 м в предгорьях и 300—500 м в горах образованы менее стойкими терригенными породами. Для низкогорья характерны ориентировка основных хребтов параллель-

но простиранию мезозойских структур, сглаженные очертания, вогнутый, местами ступенчатый характер склонов крутизной до 35° в верхних частях и до 20° в нижних частях и плавные переходы склонов в террасы. Участки развития молодых базальтов выражены в рельефе в виде структурных плато, слабо расчлененных, пологоувалистых, с абсолютными отметками 100—400 м.



Рис. 49. Схематическая блок-диаграмма западной части Нижне-Амурского региона, отражающая характер взаимосвязи рельефа с геологическим строением. Формации: 1 — песчано-глинистая сероцветная; 2 — андезитовая; 3 — базальто-андезитовая; 4 — молассовая; 5 — интрузивная; 6 — четвертичные отложения; 7 — разрывные нарушения; 8 — абсолютные отметки отдельных вершин

Все впадины в современном рельефе представляют собой низменности с абсолютными отметками от 50 до 300 м. Поверхности их слабо расчленены и незначительно наклонены в сторону моря и русел рек. Местами среди равнин возвышаются гряды мелкосопочника протяженностью до 300 м с относительными превышеннями 30—80 м. Большая часть низменностей занята болотами с буграми пучения, термокарстовыми озерами и старицами. Морские берега на значительном протяжении, особенно на мысах, обрывистые с высотой обрывов до 150 м, местами низкие, террасированные. Почти повсеместно развиты песчаные или каменистые пляжи шириной 10—200 м, заливаемые в приливы.

На климатические условия региона влияют близость холодного Охотского моря и рельеф: первое определяет его муссонность, второе — микроклимат отдельных частей региона. Многочисленные хребты, располагающиеся почти перпендикулярно направлению зимних и летних муссонов, разбнвают регион на большое количество микроклиматических районов. Особенно резкие различия в климате отмечаются в прибрежной и внутренней его частях. В прибрежных районах лето прохладное, сырое, туманное с максимальной температурой 22—25°; в районах, отгороженных хребтами от берега, оно жаркое с максимальной температурой 28—30°. Зима в удалении от берега холоднее на 3—4°. Весной разность средних температур между внутренними и прибрежными районами составляет: в марте 3,2°, в апреле 0,4° и в мае 2,3°. Среднегодовая температура отрицательная (от —1,2 до —5,8°). В бассейне Нижнего Амура за год выпадает 500—600 мм осадков, а испаряется около 400 мм. Среднегодовые коэффнциенты увлажнения на большей части территории 1—1,28, на побережье до 1,5. Небольшое количество осадков, выпадающих зимой (от 5 до 15% годового количества), определяет небольшую мощность снежного покрова (на низменностях 0,4—0,6 м, в долинах рек до 1,5 м) и широкое развитие в регноне сезонной мерзлоты. Максимальная глубина промерзания грун-

тов под снегом на севере 3,2 м, на юге до 2 м. На оголенных поверхностях развита многолетняя мерзлота. Многолетнемерзлые породы с температурой минус 2—3°, мощностью от 3 м на юго-востоке до 50 м на северо-западе залегают на глубине 1,5—4 м, а на болотах — на глубине 0,6—0,8 м.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Нижне-Амурский регион входит в область мезозойской складчатости, является синклинорной структурой и характеризуется широким развитием существенно терригенных мезозойских и кайнозойских образований. В небольших тектонических блоках на поверхность выходят палеозойские породы, широко развитые западнее, в Тукурингра-Баджальском регионе.

В мезокайнозойском цикле развития территории четко выделяются геосинклинальный, орогенный и неотектонический этапы. Для раннегеосинклинальной стадии развития, охватывающей поздний триас, раннюю и среднюю юру, характерны песчано-глинистая сероцветная и в меньшей степени спилито-кремнисто-песчано-глинистая формации; для позднегеосинклинальной стадии (поздняя юра — ранний мел) — песчано-глинистая флишоидная формация.

В раннеорогенную стадию развития территории, охватывающую сеноман и турон, в мелководных остаточных бассейнах, окруженных со всех сторон горами, сформировалась песчано-глинистая морская молассовая формация.

В позднеорогенную стадию (после замыкания сеноман-туронских остаточных прогибов) по усилившимся расколам земной коры произошло внедрение основных масс магматического материала и образование линейно-вытянутых межгорных впадин. В результате сформировались мощные толщи пород вулканогенных формаций и отдельные массивы интрузивных пород; межгорные впадины заполнились континентальной молассой.

В неотектонический этап в регионе господствовали процессы денудации и аккумуляции, в результате чего в горах сформировался комплекс рыхлых отложений склонового ряда, во впадинах и долинах рек — комплексы аллювиальных, озерно-аллювиальных и озерных образований, на морском побережье — морских и аллювиально-морских, на поверхностях террас и межгорных впадин — комплекс органогенных образований.

Песчано-глинистая сероцветная формация позднего триаса — средней юры сформировалась в обширном миогеосинклинальном бассейне и распространена в Амгунском и Горинском синклинориях (рис. 50). Она представлена неравномерным переслаиванием песчаников, алевролитов, гравелитов, конгломератов и характеризуется уменьшением грубообломочного материала и появлением элементов флиша в направлении с запада на восток. Местами в терригенных толщах присутствуют отдельные горизонты вулканогенно-кремнистых образований (до 200 м), представленные чередованием спилитов, диабазов, кремнистых пород, кремнисто-глинистых сланцев и реже песчаников. Общая мощность отложений 7—10 км.

Структурной особенностью толщ, составляющих сероцветную формацию, является их северо-восточное простирание. Породы сильно дислоцированы с углами падения крыльев до 70°, разбиты разломами, в

которых окварцованы, повышенно трещиноваты и расслапцованы; в зонах глубинных разломов нередко превращены в кварциты или кристаллические сланцы чрезвычайно крепкие и мополитные. До глубины 40--70 м, наиболес интеисивпо до 30—40 м, породы трещиноватые. Наибольшее количество трещин (40 трещин па 1 м) приурочено к алевролитам, аргиллитам, глинистым и кремнистым сланцам, благодаря чему опи образуют слабоустойчивые откосы. В песчаниках, гравелитах и конгломератах на 1 м приходится от 1 до 10 трещин. Это массивные грубослоистые породы, выступающие в коренных выходах в виде гребней, ступеней и др.

Средние значения водопоглощения песчапиков колеблются от 0,11 до 0,74% (минимальные характерны для тонкозерпистых песчаников с кварцевым или известковым цемептом, максимальпые — для трещиноватых средиезернистых разностей). Водопоглощение алевролитов 0,46—1,55% (6 определений), глинистых сланцев — 1,14—1,34% (8 определений). Объемная масса песчаников 2,62—2,81 г/см^3, алевролитов и глинистых сланцев — 2,57—2,7 г/см^3; коэффициент размягчения соответственно 0,7—0,9 и 0,4—0,42; коэффициент морозостойкости 0,93—1,11 и 1,2—1,35. Временное сопротивление сжатию песчаников зависит от размеров зерна, степени перекристаллизации цемента и трещиноватости. Наиболее прочные тонко- и мелкозернистые окварцованные разности с кварцевым и известковым цементом. Они характеризуются временным сопротивлением сжатию в сухом состоянии от $2500 \cdot 10^5$ до $3590 \cdot 10^5$ Па, среднезернистые плотные песчаники — $2100 \cdot 10^5$ — $2600 \cdot 10^5$ Па, трещиноватые — $450 \cdot 10^5$ — $1470 \cdot 10^5$ Па. При водонасыщении и замораживании эти показатели существенно не меняются. Временпое сопротивление сжатию нетрещиноватых алевролитов и глинистых сланцев в сухом состоянии в среднем $950 \cdot 10^5$ — $1190 \cdot 10^5$ Па (5 определений), трещиноватых — $530 \cdot 10^5$ — $480 \cdot 10^5$ Па. При водонасыщении и замораживании эти значения умепьшаются в 2—3 раза. Кремнистые и кремнисто-глинистые сланцы, как правило, сильнотрещиноватые и по своим свойствам близки к алевролитам и глинистым сланцам, окварцованные разности близки к песчаникам. Спилиты и диабазы являются экзотическими образованиями в составе формации, но в ряде случаев (бассейн Амгуни) опи образуют пласты мощностью до 60 м. Это крепкие, слабо поддающиеся физическому выветриванию породы плотностью 2,89 г/см^3; объемной массой 2,87 г/см^3; пористостью 0,69%; водопоглощением 0,28% и временным сопрстивлеиием сжатию в сухом состоянии $1720 \cdot 10^5$ Па.

Спилито-кремнисто-песчано-глинистая формация ранней юры возникла на локальпых, максимально прогнутых участках, ограниченных крупными разломами, по которым в бассейн поступали продукты подводных извержений и кремнистый материал. Она слагает Киселевское и Мевачанское приразломные поднятия. В Киссловском поднятии формация представлена неравномерным чередованием туфогенных песчаников, массивных кремнистых пород, спилитов, диабазов, различных туфов, известняков. Пласты вулканогенных пород достигают 25 м, кремнистых до 35 м и других пород от 0,01 до 25 м. В Мевачапском поднятии появляются 60—70-метровые горизонты кремнистых и кремнисто-глинистых пород, мощности вулканогенных образований не превышают 15 м. Мощность формации около 2 км.

Породы трещиноваты до глубины 60—80 м. В пределах Киселевского поднятия преобладают трещины двух-трех направлепий, под углами 40—60° к слоистости. На 1 м приходится от 2 до 8 трещин одно-

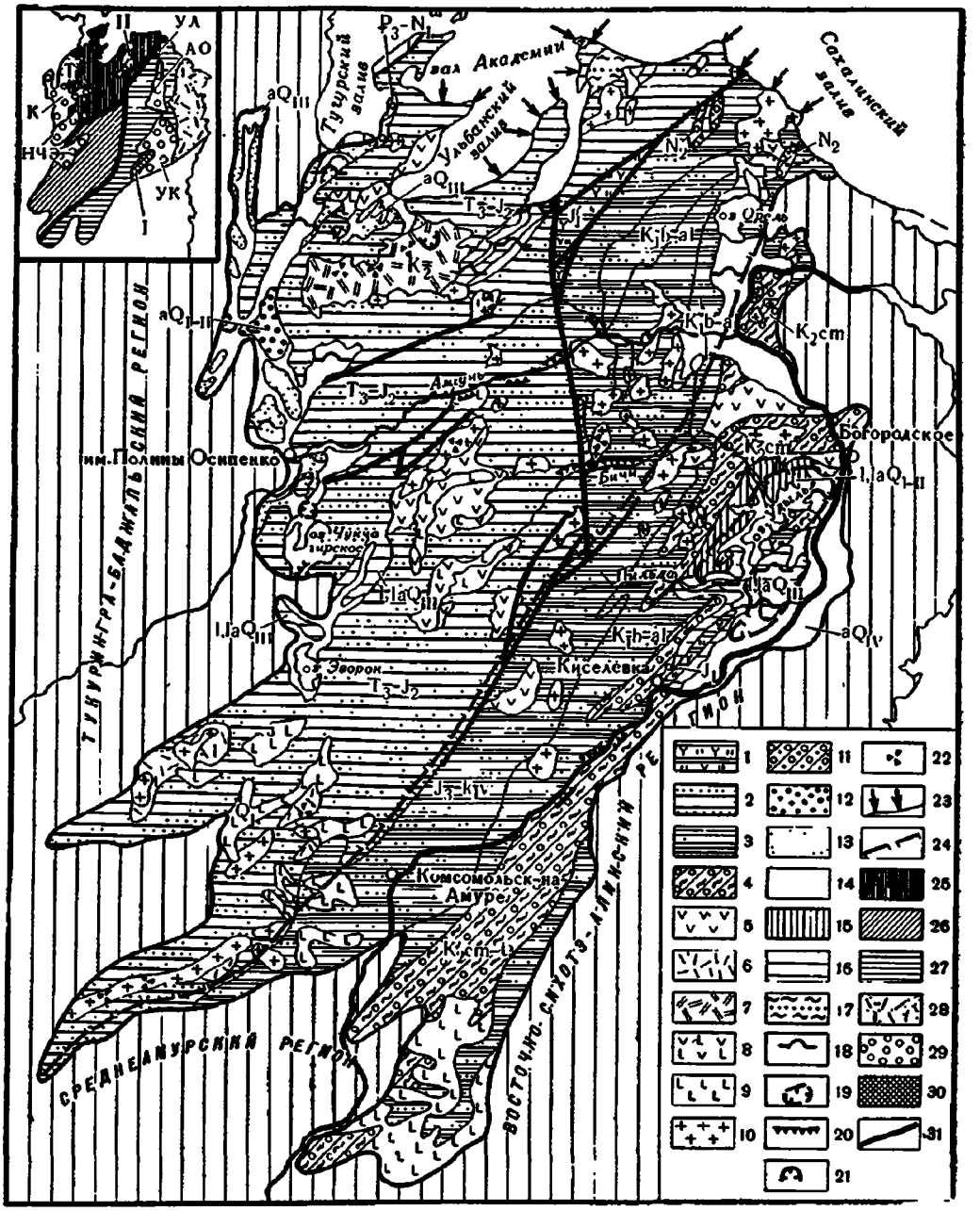


Рис. 50. Схематическая инженерно-геологическая карта Нижне-Амурского региона. Формации: 1 — спилито-кремнисто-песчано-глинистая (J_1); 2 — песчано-глинистая сероцветная (T_3—J_2); 3 — флишоидная (J_3—K_1v — нижняя толща, K_1b — al — верхняя толща); 4 — терригенная молассовая (K_2cm, K_2cm—t); 5 — андезитовая (K_2); 6 — липаритовая (K_2); 7 — андезит-липаритовая (K_2); 8 — базальто-андезитовая (P_2, N_1); 9 — базальтовая (Q_I); 10 — гранитоидная (K_2); 11 — молассовая (P_3—N_1, N_2). Геолого-генетические комплексы: аллювиальные 12 — нижне-среднеплейстоценовые (aQ_{I-II}), 13 — верхнеплейстоценовые (aQ_{III}), 14 — голоценовые (aQ_{IV}); озерные и озерно-аллювиальные: 15 — нижне-среднеплейстоценовые (l, laQ_{I-II}), 16 — верхнеплейстоценовые (l, laQ_{III}); 17 — верхнеплейстоценовые и голоценовые морские и аллювиально-морские (m, amQ_{III-IV}). Физико-геологические явления: 18 — бугры пучения; 19 — термокарст; 20 — участки подмыва берегов; 21 — обвалы, оползни; 22 — осыпи; 23 — абразия; 24 — граница распространения многолетней мерзлоты.

На врезке. Схема структурных элементов региона (по Ю. А. Иванову): 25 — Амгуиский синклинорий; 26 — Горинский синклинорий; 27 — Орельско-Удыльский син-

го направления. Чаще всего трещины залечены кварцем и кальцитом. Коэффициент фильтрации пород в трещиноватой зоне 0,1—1 м/сут. Временное сопротивление сжатию в сухом состоянии туфопесчаников $600 \cdot 10^5$ — $800 \cdot 10^5$ Па, кремнистых и кремнисто-глинистых пород до $1400 \cdot 10^5$ Па, спилитов и диабазов до $1800 \cdot 10^5$ Па. Все породы морозостойкие.

Флишоидная формация поздней юры-раннего мела характеризуется ритмичностью в чередовании пород и состоит из двух толщ, различающихся по условиям залегания, осадконакопления и составу.

Нижняя толща (поздняя юра — валанжин) сформировалась в обширном миогеосинклинальном бассейне, простиравшемся в восточной половине региона на сотни километров. Она слагает основную часть Орельско-Удыльского синклинория и характеризуется широким развитием в низах разнозернистых песчаников с гравелитами, осадочными брекчиями и конгломератами, выше — примерно равным соотношением псаммитов и пелитов. В целом это неравномерное переслаивание песчаников, алевролитов, глинистых сланцев и осадочных брекчий, на фоне которого отмечаются пачки до 200 м ритмичного чередования тонкополосчатых алевролитов, песчаников и аргиллитов и отдельные горизонты (до 30 м) кремнистых сланцев, спилитов, диабазов, известняков.

Породы смяты в складки близмеридионального простирания с углами падения 30—50°, близ крупных разломов опрокинуты, с очень крутыми крыльями до 80°, флишоиднопостроенные пачки осложнены микроскладчатостью. Отличительной чертой толщи является выдержанность по простиранию состава, характера строения и мощностей.

Верхняя толща (баррем — альб) сформировалась в условиях усилившейся дифференциации бассейна: воздымания западной и восточной его частей и появления многочисленных островов. Наиболее прогнутые его части были ограничены разломами. Все это обусловило значительную грубозернистость и туфогенность пород, а участками — насыщенность их кремнисто-вулканогенным и известковистым материалом. Почти повсеместно в основании толщи фиксируется базальная пачка конгломератов, гравелитов, туфогенных косослоистых песчаников и алевролитов с рассеянной галькой мощностью до 500 м. Вышележащие песчаники, алевролиты, гравелистые туфопесчаники и мелкогалечные конгломераты образуют флишоидное переслаивание и характеризуются линзовидной слоистостью, обилием туфового материала и растительного детрита и иногда повышенной карбонатностью, придающей им чрезвычайную крепость. Наибольшая насыщенность отложений вулканогенным и известковистым материалом (до 20% общего объема пород) приурочена к меридиональному участку долины Амура.

Простирание пород близмеридиональное, углы падения 20—40°, в алевролитах, аргиллитах и флишоидных пачках отмечается микроскладчатость. До глубины 7—10 м массивы пород флишоидной формации разбиты трещинами отдельности на плиты, реже—глыбы неправильной формы. Наиболее трещиноватая зона (20—100 трещин на 1 м) мощностью 5 м (бассейн р. Силинка). Трещиноватость затухает на водоразделах на глубине 50—60 м, в долинах рек — на глубине 20—

клинорий; 28 — Восточно-Сихотэ-Алинский вулканоген; 29 — наложенные впадины: Кониская (К), Тугурская (Т), Нимелено-Чукчагиро-Эворонская (НЧЭ), Ул-Лонгарийская (УЛ), Амуро-Орельская (АО), Удыль-Кизинская (УК); 30 — приразломные поднятия (I — Киселевское, II — Мевачанское); 31 — разломы (на карте и схеме)

30 м. Слаботрещиноватые песчаники нижней толщи водопоглощением 0,26—0,38% (8 определений), верхней толщи — 0,85—1,49% (5 определений), пористостью соответственно 1,12 и 5,22%, объемной массой 2,63—2,8 и 2,49—2,55 г/см³. Прочность песчаников, гравелитов и конгломератов зависит от прочности цемента и от количества туфовой примеси. В основном они крепко сцементированные и по своим свойствам близки к породам сероцветной формации. Временное сопротивление сжатию мелко- и среднезернистых песчаников в сухом состоянии $1400 \cdot 10^5 — 2300 \cdot 10^5$ Па; песчаников, содержащих примесь туфового материала и алевролитов, не более $800 \cdot 10^5$ Па; аргиллитов до $600 \cdot 10^5$ Па; ороговикованных разностей пород до $3200 \cdot 10^5$ Па. Известковистые породы обычно массивные, местами окремнелые, плотностью 2,66 г/см³; объемной массой 2,68 г/см³. Временное сопротивление сжатию в сухом состоянии до $2460 \cdot 10^5$ Па. Кремнистые сланцы устойчивы к выветриванию.

Терригенная молассовая формация позднего мела развита в двух структурно-фациальных зонах: Усть-Амурской и Удыльской. В Усть-Амурской структурно-фациальной зоне в низах отложений присутствует 130—150-метровая базальная пачка грубозернистых косослоистых песчаников с частыми прослоями и линзами конгломератов до 6—10 м, осадочных брекчий и гравелитов. Основная часть формации представлена неравномерным чередованием (через 0,3—3,5 м) песчаников и алевролитов с пачками тонкого (0,03—0,2 м) ритмичного переслаивания алевритистых песчаников, алевролитов и аргиллитов. В песчаниках содержится примесь карбонатного и туфогенного материала. Общая мощность отложений до 3500 м. В Удыльской структурно-фациальной зоне базальные грубозернистые отложения содержат крупные глыбы (до 1 м в поперечнике) порфиритов, кремнистых пород, известняков. Вверх по разрезу появляются туфы, туффиты, туфоконгломераты, туфопесчаники с пачками тонкого переслаивания песчаников и алевролитов, насыщенных туфогенным материалом. Мощность формации до 5000 м.

Простирания структур меняются от субмеридионального до субширотного. Залегание пород нередко моноклинальное на протяжении нескольких десятков километров при сравнительно пологих углах падения до 15—35°. В массиве породы формации трещиноваты до глубины 60—80 м, наиболее интенсивно (превращены в разборную скалу) — до 5 м. Коэффициент фильтрации в трещиноватой зоне туфогенных песчаников и туфоконгломератов 0,5—0,05 м/сут, алевролитов и туфов 0,1—0,01 м/сут. Водопоглощение неметаморфизованных псаммитовых пород 0,77—0,89% (10 определений), ороговикованных — 0,02—0,13% (10 определений); объемная масса песчаников 2,66—2,71 г/см³ (15 определений). Временное сопротивление сжатию в сухом состоянии тонкозернистых песчаников $1540 \cdot 10^5 — 2030 \cdot 10^5$ Па, песчаников с примесью туфового материала — $1080 \cdot 10^5 — 1500 \cdot 10^5$ Па, алевролитов — до $700 \cdot 10^5$ Па, аргиллитов — $400 \cdot 10^5 — 500 \cdot 10^5$ Па. При водонасыщении и замораживании эти величины уменьшаются в 1,5 раза. На контактах с интрузиями породы характеризуются чрезвычайно высокой прочностью (временное сопротивление сжатию $4400 \cdot 10^5$ Па), почти не уменьшающейся при водонасыщении и замораживании.

Липаритовая, андезито-липаритовая и андезитовая формации позднемелового возраста, базальто-андезитовая и базальтовая формации палеогенового, неогенового и неоген-четвертичного возраста слагают ряд вулканических зон в регионе.

Каждая из позднемеловых формаций характеризуется сильной фациальной изменчивостью, частой перемежаемостью (через 5—120 м) лав с пирокластами и туфогенно-осадочными образованиями, а также наличием кор выветривания. Формирование пород происходило с перерывами из отдельных центров излияния, степень их метаморфизма уменьшается вверх по разрезу. Общая мощность более 1000 м.

Базальто-андезитовая и базальтовая формации представлены главным образом базальтоидами, что объясняется увеличением жесткости структур в кайнозое и проникновением разломов на все большие глубины. Базальто-андезитовая формация образует в рельефе расчлененные платообразные поверхности. Породы базальтовой формации развиты в пониженных частях рельефа южной части региона, слагая слабо расчлененные плато. Все базальтоиды характеризуются чередованием через 10—60 м плотных, пористых и ноздреватых базальтов или андезито-базальтов, с близким к горизонтальному залеганием и мощностью 150—200 м, реже до 600 м. По данным В. В. Онихимовского, миоценовые базальты Комсомольского района содержат 4—6-метровые прослои каолиновых глин с обломками базальтов. Аналогичные образования до 10 м мощностью (коры выветривания по Ю. Ф. Чемекову) отмечаются на миоценовых базальтах, развитых вдоль восточного борта Средне-Амурской депрессии. Плотность верхнемеловых эффузивов 2,63—2,66 г/см^3, базальтоидов — 2,72—2,99 г/см^3. Объемная масса верхнемеловых эффузивов 2,5—2,65 г/см^3, базальтоидов — 2,78—2,86 г/см^3, различных туфов — 2,07—2,12 г/см^3; водопоглощение плотных лав 0,04—1,25%, пористых лав и туфов — 4,5—5,38%. Временное сопротивление сжатию верхнемеловых андезитов, дацитов и липаритов до $1200 \cdot 10^5$ Па, базальтов до $2250 \cdot 10^5$ Па. Наименее стойкими являются туфы и пористые лавы. Благодаря большой пористости (10—30%) и значительному водонасыщению они не выдерживают 25-кратного замораживания, характеризуются временным сопротивлением сжатию до $500 \cdot 10^5$ Па.

Вулканогенные породы в массиве могут быть охарактеризованы как недостаточно прочные благодаря чередованию плотных и пористых лав, туфов, глин, а также значительной трещиноватости до глубины 20—30 м. Нормативное давление на трещиноватые, пористые и выветрелые эффузивы не должно превышать $8 \cdot 10^5$ Па, на элювиальные грунты — $5 \cdot 10^5$ Па (Гвоздева и др., 1963).

Породы гранитоидной формации образуют разнообразные по размеру массивы, наиболее крупные из которых развиты на левобережье Амура. Это граниты, гранодиориты, реже диориты и диорит-порфириты, характеризующиеся равномерно-зернистыми структурами в центральных частях массивов и порфировыми в периферических, окварцованные и иногда рассланцованные близ разломов. Плотность гранитоидов 2,74—2,81 г/см^3; объемная масса 2,64—2,77 г/см^3 (10 определений); водопоглощение 0,04—0,5%; истираемость в барабане Деваля 11—14%; коэффициент морозостойкости 0,87.

В зоне выветривания все интрузивные породы трещиноваты, местами разрушены до дресвы. Невыветрелые разности характеризуются временным сопротивлением сжатию от $1000 \cdot 10^5$ до $1860 \cdot 10^5$ Па, выветрелые — $300 \cdot 10^5$ Па. Наименее прочными являются крупнозернистые граниты, легко подвергающиеся выветриванию, наиболее прочными — пегматоидные граниты.

Породы молассовой формации олигоцен-миоценового и плиоценового возраста выполняют межгорные впадины близмеридионального простирания, тяготеющие к западной и вос-

точной частям региона. Западная группа впадин — Конинская, Тугурская и Нимелено-Чукчагиро-Эворонская — протягивается непрерывной полосой от оз. Эворон до Тугурского побережья. Восточная — состоит из Ул-Лонгарийской, Амуро-Орельской и Удыль-Кизинской впадин, изолированных друг от друга выходами мезозойских образований и протягивающихся от оз. Кизи до побережья Охотского моря. Формация представлена лагунно-морскими, озерными и аллювиально-озерными отложениями, характеризующимися фациальной изменчивостью по простиранию, уменьшением мощностей и увеличением количества грубого материала к бортам впадин. В Тугурской впадине состав отложений полностью грубообломочный. Общая мощность отложений до 1300 м.

Формация делится на две толщи. Наиболее широко распространена нижняя толща, присутствующая во всех впадинах, за исключением Ул-Лонгарийской. В западной группе впадин она залегает на глубине около 140 м, максимальной мощностью 800 м и представлена в низах чередованием (через 0,6—30 м) глин, слабо сцементированных тонкозернистых песчаников и известковистых алевролитов, выше — тонкослоистыми, местами карбонатизированными глинами, мощностью до 220 м и в самых верхах — галечниками. Площадь распространения галечников почти совпадает с современными границами впадин. В периферических частях они лежат на мезозойских породах. В северном направлении состав отложений постепенно грубеет, уменьшается глубина их залегания, мощности сокращаются до 500 м. В береговых обрывах Тугурского залива породы нижней толщи выходят на поверхность и представлены слабо сцементированными и выветрелыми конгломератами, валунниками, галечниками с редкими прослоями глин и алевролитов.

В восточной группе впадин олигоцен-миоценовая моласса залегает на глубине около 100 м и представлена чередованием слабо диагенезированных алевролитов, песчаников, туфопесчаников, аргиллитов, диатомитов, трепелов, конгломератов, туфоконгломератов, туфов и бурых углей. В низах породы переслаиваются через 0,5—5 м, в верхах — через 0,1—0,5 м. Мощность формации в центральных частях впадин до 700 м, к бортам она уменьшается до 150 м, а на севере не превышает 90 м.

В местах выходов на поверхность породы трещиноваты на глубину до 40 м и по трещинам в нижних частях склонов обводнены с глубины 0,5—2 м, в верхних — с глубины 25—30 м. Диагенез глинистых пород настолько мал, что при соприкосновении с водой они набухают и полностью размокают. Плотность глин 2,67 г/см^3; объемная масса 1,71—1,76 г/см^3; предел текучести 36%; предел раскатывания 24,3%; число пластичности 11,7. Временное сопротивление сжатию конгломератов и гравелитов в сухом состоянии менее $200 \cdot 10^5$ Па. Диатомиты объемной массой 0,41—0,58 г/см^3, плотностью 2,12—2,60 г/см^3. Средняя величина временного сопротивления сжатию при температуре 800—1000° от $40 \cdot 10^5$ до $207 \cdot 10^5$ Па.

Верхняя толща (плиоцен) развита в восточной группе впадин, залегая с поверхности только в Ул-Лонгарийской. Она представлена слабо сцементированными конгломератами и галечниками, реже уплотненными глинами и песками. Глины каолинового состава, содержат марказитовые и пиритовые скопления и указывают на формирование отложений в условиях замкнутого застойного бассейна. Они присутствуют в центральных частях впадин. Мощность отложений меняется от нескольких метров в краевых частях впадин до нескольких сотен метров — в центральных.

В отличие от северных впадин, в Удыль-Кизинокой верхняя толща представлена переслаиванием глин с мелкозернистыми песками максимальной мощностью 50 м. Породы верхней части уплотненные, сильновыветрелые. Грунтовой горизонт у них единый с четвертичными отложениями. Инженерно-геологические свойства пород не изучены.

Аллювиальные отложения раннего — среднего плейстоцена широко развиты в западной группе впадин (залегая на плиоценовой коре выветривания) и редко присутствуют в речных долинах. Во впадинах это пески с линзами суглинков и галечников, фациально замещающиеся в северном направлении крупногалечными образованиями с примесью валунов.

В долинах рек до глубины 5 м распространены глины и суглинки, глубже — галечно-гравийные отложения с суглинками и глинами (25—30%) и в самых низах — галечники с примесью валунов. Максимальная мощность отложений во впадинах 110 м, в долинах рек — 80 м. Аллювиальные глины и суглинки обычно пылеватые (содержание пылеватой фракции в средием 38%), содержание глинистых частиц в глинах 30—60%, в суглинках 10—30%.

	Глины	Суглинки
Плотность, г/см³	2,55—3(61)	2,62—2,72
Объемная масса, г/см³	1,88—2,01(30)	1,84—1,95
Объемная масса скелета, г/см³ .	1,3—1,59	1,46—1,61
Пористость, %	40—50(30)	39—46
Коэффициент пористости . . .	0,76—0,98	0,65—0,86
Предел текучести	32—63(52)	32—68
Предел раскатывания	17—48,9(52)	24—56
Число пластичности	17—25,6	3—15
Степень влажности	0,87—1,28	0,8—1,03

Примечание. В скобках дано количество определений.

Суглинки и глины сильно уплотненные. Степень набухания их 2—10%; модуль деформации при нагрузке 30 Н колеблется от $50 \cdot 10^5$ до $2000 \cdot 10^5$ Па (30 определений); сцепление $0{,}125 \cdot 10^5$ — $1{,}1 \cdot 10^5$ Па (29 определений).

Озерные и озерно-аллювиальные нижне-среднеплейстоценовые отложения наиболее распространены в Удыль-Кизнинской впадине, окаймляя ее с севера и запада 25-километровой полосой. По составу это суглинки и глины с линзами песков и супесей. Озерные отложения характеризуются высоким содержанием глинистой фракции (до 64%) и незначительной примесью песчаной (5—6, редко до 16%). В озерно-аллювиальных образованиях, в отличие от озерных, высокое содержание песчаной фракции (25—55%), глинистой не более 30%, алевритовой до 45%. Плотность глин и суглинков 2,65—2,73 г/см³ (20 определений) и естественная влажность 18—23%. Предел текучести озерных глин 33—60% (20 определений); предел раскатывания 16—30% (20 определений); число пластичности 18—30 (21 определение). Предел текучести озерно-аллювиальных суглинков 20—35% (10 определений), предел раскатывания 9—22%, число пластичности 6—18 (22 определения).

Верхнеплейстоценовые аллювиальные отложения во впадинах представлены: на западе — средними и крупными галечниками с гравийно-песчаным заполнителем, реже песками и супесями общей мощностью 25 м, на востоке — песками и глинами с примесью гравийного или галечного материала мощностью до 50 м. В долинах рек до глубины 2,5 м преобладают суглинки и глины, ниже — гравийники и галечники мощностью 3—6, реже до 10—15 м. На основной площади распростра-

ения верхнеплейстоценовые отложения талые, плотного сложения, держат устойчивые откосы, при подмыве и фильтрации обрушаются и оплывают. Плотность песков, гравийников и галечников 2,75—2,76 г/см³; суглинков, супесей и глин — 2,64—2,69, среднее 2,67 г/см³ (20 определений). Объемная масса соответственно 1,22—1,66 и 1,6—2,05 г/см³; естественная влажность 16,5—28 (8 определений) и 21—42% (20 определений). Коэффициент фильтрации гравийно-галечных отложений до 150 м/сут, песков — 3—17 м/сут, супесей и суглинков — до 1 м/сут. Нормативное давление до $5 \cdot 10^5$ Па.

Верхнеплейстоценовые и голоценовые озерные и озерно-аллювиальные отложения слагают террасы, пляжи и днища озер. Они представлены глинами, суглинками, песками и илами с линзами погребенного торфа. С глубиной возрастает роль песков и иногда появляются гравийно-галечные образования. Мощность толщи до 70 м.

Глины и суглинки отличаются высокой дисперсностью гранулометрического состава. Содержание глинистой фракции в озерных отложениях 33—66%, в озерно-аллювиальных — 20—43%. Суглинки и глины непросадочные; число пластичности 9—25; пористость 35—70%; по консистенции от твердых до текучепластичных; нормативное давление до $1 \cdot 10^5$ Па; коэффициент пористости илов 1,1—1,5; естественная влажность выше влажности на границе текучести, и нормативное давление не более $0{,}4 \cdot 10^5$ Па.

Морские и аллювиально-морские верхнеплейстоценовые и голоценовые отложения развиты вдоль морского побережья. Первые слагают террасы высотой до 40 м и участки равнин, состоящие из древних береговых валов, и представлены хорошо отсортированными галечниками, почти не содержащими примеси глинистых частиц, местами переслаивающимися через 0,2—0,5 м с песками и гравийниками и перекрыты с поверхности иловатыми суглинками, супесями и песками. Пляж, развитый на всем морском побережье, песчаный, гравийно-галечниковый или валунно-глыбовый, лайда образована иловатыми суглинками, реже иловатыми песками. Аллювиально-морские отложения развиты в приустьевых частях наиболее крупных рек, образуя аккумулятивные равнины, и представлены переслаиванием песков с галькой, суглинков, глин и илов. Местами состав существенно глинистый (Ульбанское побережье). Общая мощность морских отложений до 30 м, аллювиально-морских до 15 м.

Пески преимущественно пылеватые, содержат до 45% пылеватых частиц, суглинки иловатые с 30—35% глинистых частиц. Плотность песков 2,66 г/см³, суглинков — 2,59—2,64 г/см³; объемная масса соответственно 1,9 и 1,5—1,64 г/см³; объемная масса скелета 1,27—1,47 и 0,95—1,06 г/см³; пористость 48—55 и 36—40%; коэффициент пористости 1,1—1,2 и 0,52—0,66; естественная влажность соответственно 33—49, 51—64%; коэффициент влажности соответственно 0,88—1,29 и 1,3—1,64. Предел текучести суглинков 30—59%, предел раскатывания до 47%, число пластичности 5—17. Иловатые грунты обладают тиксотропными свойствами и характеризуются нормативным давлением $0{,}4 \cdot 10^5$ — $1 \cdot 10^5$ Па.

Голоценовые аллювиальные отложения образуют во впадинах аккумулятивные равнины, в речных долинах слагают низкие террасы, поймы, косы и острова. Во впадинах это преимущественно тонкообломочный, хорошо отсортированный и окатанный материал (суглинки, пески, глины, илы) мощностью до 30 м. В долинах рек до глубины 2 м распространены пески, супеси, суглинки, илы, глины, ниже — галечники и гравийники, реже пески, суглинки, илы общей мощностью 1,5—

20 м. Косы, острова и низкая пойма горных рек образованы в основном валунно-галечниковым материалом с примесью песка и гравия.

В составе отложений в целом преобладают заиленные косослоистые пески, суглинки и илы, что связано с муссонностью климата и частыми паводками. Заиленные пески содержат до 20% глинистой фракции. При максимальном уплотнении их объемная масса 1,34—1,37%; плотность 2,72—2,96 г/см^3; пористость 23—51%; коэффициент пористости 0,88—1,34; коэффициент фильтрации 3—20 м/сут. Суглинки и илы отличаются малой пластичностью, высоким содержанием пылеватых частиц (до 95%), непросадочные (показатель уплотненности 0,52—1,05). Плотность 2,62 г/см^3; объемная масса при естественной влажности 1,76 г/см^3, абсолютно сухого грунта — 1,35 г/см^3; пористость 39—50%; коэффициент пористости 1,03—1,5; естественная влажность суглинков 22—35%; предел текучести 30—56%; предел раскатывания 24—45%; число пластичности 6—16. Нормативное давление на пески до $2 \cdot 10^5$ Па (на влажные разности до $1{,}5 \cdot 10^5$ Па, насыщенные водой — до $1 \cdot 10^5$ Па), на пески с гравием и галькой $2{,}5 \cdot 10^5$, на суглинки $1 \cdot 10^5$ Па. При переувлажнении грунты способны размокать, приобретя текучее состояние, а при замерзании — пучиниться. Гравийно-галечные отложения плотные, слабосжимаемые, во влажном состоянии сохраняют вертикальные стенки. При максимальном уплотнении их объемная масса 1,4—1,56 г/см^3; плотность 2,68—2,82 г/см^3; пористость 43—50%; коэффициент разрыхления 1,27—1,35; временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $140 \cdot 10^5$ Па, коэффициент фильтрации 20—160 м/сут.

В комплексе отложений **склонового ряда позднего плейстоцена-голоцена** наиболее широко развит элюво-делювий мощностью от 0,4 до 6 м, суглинисто- или супесчано-щебнистого состава с примесью глыб. Характеризуется быстрой изменчивостью в разрезе и пространстве. Пролюво-делювий образует предгорные шлейфы шириной 0,5—4 км и представлен суглинками, супесями, песками и глинами с галькой, валунами, щебнем и дресвой. Мощность его от 2,5 до 20 м.

Пролювиальные образования слагают конусы выноса, иногда значительных размеров и мощностью до 25 м. По составу это галечники и гравийники с глинисто-супесчаным заполнителем, до глубины 2 м — суглинки.

Все отложения склонового ряда на основной части региона находятся в талом состоянии. Они бывают промороженными на склонах северной экспозиции, под мощной моховой подушкой. В массиве талые грунты плотного сложения способны сохранять вертикальные стенки до глубины 5—6 м. Они либо безводны, либо обводнены спорадически с глубины 0,5—5 м. В период дождей насыщаются поверхностными водами, становятся неустойчивыми под нагрузкой, фильтрующие стенки оползают. Коэффициенты фильтрации суглинисто-щебнистых образований 0,75—5,3 м/сут, суглинисто-глинисто-щебнистых в зависимости от количества суглинка, глины и щебня колеблются от 0,0009 до 2,95 м/сут. Талые суглинки, супеси и глины обладают от твердой до текучей консистенцией, местами просадочны и характеризуются объемной массой 1,78—2,06 г/см^3, чаще 1,9 г/см^3, коэффициентом пористости 0,57—0,96 и естественной влажностью от 27 (у супесей) до 58% (у глин). Число пластичности супесей 2—6, суглинков 7—8, глин 17—29. По данным компрессионных испытаний (Кулаков и др., 1970), эти грунты обладают высокой плотностью и небольшим коэффициентом сжимаемости, который у суглинков и глин при нагрузке 30 Н составляет всего $0{,}69 \cdot 10^{-5}$ Па$^{-1}$. Сцепление глин $0{,}33 \cdot 10^5$, суглинков $0{,}39 \cdot 10^5$ Па. Нормативное давление на суглинисто-щебнистые отложения до $3 \cdot 10^5$ Па,

на суглинисто-песчано-галечные с примесью щебня и дресвы — $2 \cdot 10^5$ Па, на дресвяно-щебнистые—до $6 \cdot 10^5$ Па. Физико-механические показатели суглинков пролювиально-делювиальных отложений, развитых в долинах рек близ Комсомольска-на-Амуре, приведены в табл. 53.

Таблица 53

Физико-механические свойства суглинков пролювиально-делювиальных отложений

Показатели	Пределы значений	Среднее квадратичное отклонение	Коэффициент изменчивости, %	Количество определений
Плотность, г/см³	2,63—2,76	0,03	1,11	62
Объемная масса, г/см³:				
грунта	1,93—2,19	0,06	3,12	45
скелета грунта	1,48—1,96	0,11	6,51	45
Пористость, %	23,9—44	4,59	13,11	44
Коэффициент пористости	0,31—0,84	0,11	19,48	44
Естественная влажность, %	8,7—35,1	6,45	32,58	73
Предел текучести, %	21—43,6	5,39	18,18	59
Предел раскатывания, %	13—30	3,67	18,7	59
Число пластичности	4,8—18	2,92	27,6	59

Особо следует сказать о пролювиальных образованиях. Сложение их плотное, в откосах при отсутствии фильтрации устойчиво. С глубиной плотность грунтов увеличивается (суглинки, взятые с глубины 1,5—1,7 м, размокают в 12 раз быстрее, чем взятые с глубины 2,3 м). Механические свойства их следующие: угол внутреннего трения 7—27°; сцепление $0{,}1 \cdot 10^5$ — $1{,}7 \cdot 10^5$ Па; модуль деформации при нагрузке 30 Н колеблется от $33 \cdot 10^5$ до $417 \cdot 10^5$ Па, нормативное давление на суглинки $2{,}5 \cdot 10^5$ Па, на галечники—до $5 \cdot 10^5$ Па.

Физико-механические свойства суглинков из конуса выноса р. Силинка, обработанные статистически А. Г. Кулаковым и другими (1970), приведены в табл. 54.

Таблица 54

Физико-механические свойства суглинков

Показатели	Пределы значений	Среднее квадратичное отклонение	Коэффициент изменчивости	Количество определений
Плотность, г/см³	2,64—2,76	0,03	0,97	40
Объемная масса влажного грунта, г/см³	1,84—2,21	0,06	3,05	40
Пористость, %	32,4—42,8	3,06	8,25	35
Коэффициент пористости	0,48—0,74	0,08	12,77	35
Естественная влажность, %	8—32,9	5,35	28,34	100
Предел текучести, %	15—43	6,06	22,53	206
Предел раскатывания, %	10—26	3,4	18,33	206
Число пластичности	1—21	4,25	49,02	206

Органогенные образования представлены торфами со степенью разложения 10—30, реже 50% с прослоями суглинков и илов мощностью до 0,2 м. Торф рыхлый, на дренированных участках в нижних горизонтах уплотнен, с глубины 0—0,8 м водонасыщен, естественная влажность 100—300%. Местами торф находится в многолетнемерзлом состоянии, оттаивая летом на глубину 0,5—0,8 м. Мощность комплекса от 1 до

8 м. Нормативное давление на переувлажненные иловатые торфяные грунты $0{,}1 \cdot 10^5$ — $1 \cdot 10^5$ Па, на оторфованные суглинки до $2 \cdot 10^5$ Па. Коэффициент фильтрации торфов 0,05—9,2 м/сут.

Гидрогеологические условия

Горы Нижнего Приамурья представляют собой слабо расчлененные массивы с хорошо развитой зоной водоносной трещиноватости, мощность которой колеблется от 20 до 130 м, достигая максимума в бортах и днищах долин и сокращаясь на водоразделах. Глубина залегания трещинных вод от 3 до 60 м, в пределах долин не превышает 20 м. Годовая амплитуда колебания уровня изменяется от 8—15 м на водоразделах до 1,5—2 м в долинах. Воды напорные и безнапорные. Напоры обычно не более 40 м, в единичных случаях достигают 100—130 м. Пьезометрические уровни устанавливаются, как правило, ниже поверхности земли. Редко отмечаются самоизливы высотой до 6 м. Напор вод обусловлен различной водопроницаемостью пород и наиболее часто проявляется в ритмично переслаивающихся мезозойских терригенных толщах. В вулканогенных породах напоры воды проявляются редко и не превышают 6 м. Для песчаников и кремнистых пород характерна сравнительно высокая водопроницаемость (1—5,5 м/сут). Коэффициенты фильтрации алевролитов и аргиллитов с притертыми, нередко заглинизированными трещинами не превышают 0,1 м/сут. Наибольшая водопроницаемость (до 15 м/сут) в зонах разрывных тектонических нарушений, породы в которых интенсивно трещиноваты, передроблены и катаклазированы. Коэффициенты фильтрации вулканогенных пород в приповерхностной зоне (до глубины 3—5 м) изменяются от 2 до 5 м/сут, в более глубоких слоях — не более сотых долей метра в сутки. Дебиты родников до 5 л/с, скважин — от 0,01 до 10 л/с. Преобладающие удельные дебиты скважин 0,01—0,5 л/с. Наиболее водообильны зоны тектонических нарушений, где дебиты источников составляют 3—10 л/с. Трещинные воды пресные, с минерализацией преимущественно до 0,2 г/л, гидрокарбонатные со смешанным катионным составом, реже натриевые или кальциевые; обладают выщелачивающей агрессивностью. В рыхлых четвертичных отложениях, покрывающих маломощным чехлом склоны гор, периодически после дождей образуются кратковременные приповерхностные потоки, которые, выклиниваясь у подножий склонов, вызывают заболачивание прибортовых частей террас. К песчаным и гравийно-галечниковым отложениям речных долин и морских террас приурочены грунтовые воды, образующие горизонт мощностью от 3 до 25 м. Воды здесь, как правило, безнапорные, залегают на глубине 0,3—10 м. Дебиты вскрывающих их скважин при понижениях уровня на 1—8 м изменяются от 0,2 до 14 л/с. Удельные дебиты 0,1—1 л/с. Минерализация вод 0,02—0,2 г/л, общая жесткость до 2 мг·экв/л, воды гидрокарбонатного или хлоридно-гидрокарбонатного кальциево-натриевого состава. На морском побережье минерализация вод до 1,5 г/л, состав хлоридный натриевый. Воды аллювия обладают выщелачивающей и общекислотной агрессивностью к бетону и коррозийностью к металлам. Воды морских отложений, благодаря более высокой минерализации, как правило, не проявляют выщелачивающей агрессивности.

Наложенные кайнозойские впадины представляют собой межгорные артезианские бассейны. Чехол бассейнов образован рыхлыми и слабо сцементированными породами кайнозоя, содержащими грунтовые

и артезианские воды. В безморозный период с поверхности широко распространены болотные воды торфяников, залегающие на глубине до 0,8 м; зимой они полностью промерзают.

Грунтовые воды приурочены к плиоцен-четвертичным пескам, галечникам, гравийникам с прослоями и линзами глин. Они образуют горизонт мощностью от 80 до 300 м. Глубина залегания вод от 0,5—1 м на поймах до 3—15 м на более высоких террасах; на участках развития криозоны она может возрастать до 55 м. Уровень вод свободный, однако при наличии в кровле глинистых или мерзлых водоупорных пород приобретает местный напор от 1 до 40 м. Годовая амплитуда колебания уровня вблизи русел крупных рек достигает 1,5—6 м, в краевых частях впадин снижается до 0,7—2 м. Преобладающие коэффициенты фильтрации пород 3—50 м/сут. Водопроницаемость песков 3—20, реже 0,3—3 м/сут (мелкозернистые, глинистые разности). Водопроницаемость гравийно-галечниковых отложений меняется при песчаном заполнителе от 10 до 215 м/сут, при супесчаном заполнителе уменьшается до 7—70 м/сут и при суглинистом до 0,2—1 м/сут. Дебиты скважин достигают 1—10 л/с, удельные дебиты — 0,1—6 л/с. Дебиты колодцев при понижениях менее 1 м составляют 0,3—2,5 л/с.

Артезианские воды приурочены к отложениям олигоцен-миоценового возраста и заключены в пластах песков, галечников, рыхлых песчаников и конгломератов. Мощность водоносных пластов 0,5—60 м. Воды порово-пластовые и порово-трещинно-пластовые. Напоры увеличиваются от бортов впадин к центру до нескольких сотен метров. Пьезометрические уровни обычно совпадают с уровнем грунтовых вод. Водообильность напорных горизонтов в целом невысокая. Коэффициенты фильтрации 0,01—4 м/сут, удельные дебиты скважин не превышают 0,1 л/с.

К трещиноватой зоны пород мощностью 30—50 м в фундаментах бассейнов приурочены напорные трещинные воды. Напор вод, вскрытых скважиной в Чукчагиро-Нимелено-Тугурском бассейне, составлял 71 м. Пьезометрический уровень установился на отметке, близкой к уровню грунтовых вод. Дебит скважины при понижении 39 м составил 0,2 л/с.

Все воды бассейнов пресные, гидрокарбонатные натриевые или смешанные по катионам. Грунтовые воды характеризуются выщелачивающей и общекислотной агрессивностью. С глубиной агрессивность снижается; артезианские воды, как правило, неагрессивны.

Современные геологические процессы и явления

Характер геологических процессов и явлений в горной и равнинной частях территории различен: в горах это физическое выветривание, эрозия, абразия и другие; на равнинах это явления, связанные с промерзанием грунтов.

Физическое выветривание наиболее интенсивно протекает в среднегорье. На водоразделах среднегорных массивов образуются щебнисто-глыбовые развалы, на крутых склонах — осыпи, курумы, обвалы. Осыпи нередко протягиваются от вершин до подножий склонов, и иногда они подвижны. На участках тектонических дроблений осыпи представлены в основном мелкоземом. Курумы — каменные реки — приурочены к ложбинам крутых склонов наиболее высоких горных массивов. Длина их до нескольких сотен метров, ширина около 50 м. Курумы подвижны. Чаще всего на крутых склонах, сложенных терригенными

породами, наблюдаются обвалы. Размеры обваливающихся блоков в песчаниках 1—1,5 м, в алевролитах до 1 м.

На склонах и в уступах террас в результате переувлажнения суглинистой или глинистой части отложений нередко возникают оползни. Протяженность оползней на склонах по фронту может достигать 100 м при ширине до 20 м. Не исключено возникновение оползней в массивах базальтов по глинистым и суглинистым корам выветривания. При этом сползшие блоки могут быть значительных размеров.

На пологих склонах в пределах распространения пород песчано-глинистой морской молассовой формации часто отмечаются процессы солифлюкции, сопровождающиеся образованием нагорных террас или валов.

В паводки происходит подмыв речных берегов: на малых реках со скоростью 0,3—0,5 м в год, на крупных — до нескольких метров в год (на участке Нижне-Тамбовское — Шелехово правый берег Амура отступает со скоростью 5—7 м в год).

Обрывистые берега Охотского моря подвергаются процессам абразии. Под постоянным действием волн в них образуются ниши глубиной до 1,5 м, после штормов происходят обвалы и камнепады.

Физико-геологические процессы и явления, связанные с сезонным промерзанием грунтов, а также с островной многолетней мерзлотой, широко развиты в пределах низменностей, приуроченных к впадинам и наиболее широким участкам речных долин. Это процессы заболачивания, явления термокарста и пучения, наледи. Наиболее широко развиты процессы заболачивания. Этому способствуют мерзлота, широкое распространение с поверхности суглинистых грунтов, слабая их дренированность и интенсивные летние осадки. Болота глубиной от 1,5 до 8 м, обычно с поверхности обводнены, замерзают в конце сентября и оттаивают в августе.

В западной группе впадин широко развиты термокарстовые озера изометричной или овалоподобной формы в плане диаметром до 0,6 км и глубиной 1—2,5 м.

Во впадинах, реже на пологих заболоченных склонах и в днищах речных долин возникают бугры пучения. Высота их колеблется от 0,3 до 10 м при диаметре от 1 до 30 м. Нередко они образуют гряды протяженностью до 0,5 км и высотой до 100 м. Бугры пучения часто разбиты морозобойными трещинами шириной 3—10 см, глубиной более 1,5 м, ядра их состоят из чистого льда или из льдонасыщенных пород. На низменностях морского побережья встречаются бугры-могильники, ядра которых сложены суглинком с линзами льда.

В долинах рек и в нижних частях склонов отмечаются сезонные наледи средней высотой 2—2,5 м. На равнинах Конинской и Тугуро-Нимеленской впадин встречаются многолетние наледи протяженностью до 2—3 км с толщиной льда 2—4 м. Днища речных долин, к которым они приурочены, сложены галечниками с валунами.

СРЕДНЕ-АМУРСКИЙ РЕГИОН

Средне-Амурский регион расположен на юге Хабаровского края, где он широким клином как бы раздвигает две крупные горные системы: Буреино-Баджальскую и Сихотэ-Алинскую. Это преимущественно низменная аккумулятивная равнина, над которой возвышаются низко- и среднегорные останцовые хребты и одиночные холмы. Поверхность равнины плоская или слабоволнистая, неглубоко расчленена долина-

ми рек. Абсолютные высоты колеблются от 32 до 80 м, преобладают 45—55 м; относительные — от 4 до 15 м. Характерно чередование залесенных повышений (рёлок) с заболоченными кочковатыми понижениями и многочисленными озерами. Только вблизи предгорий и останцовых возвышенностей поверхность равнин волнистая или увалистая с относительными высотами 25—80 м, слабо расчлененная овражно-балочной сетью.

Регион расположен на стыке двух климатических областей: Восточно-Азиатской и Сибирской. В связи с этим его климат носит муссонно-континентальный характер. Среднегодовая температура на юге региона +1°, на севере — ноль. Среднегодовое количество осадков 570—795 мм. Зима холодная с ясной погодой. Средняя температура января минус 21—23°. Мощность снежного покрова менее 30 см. Лето дождливое теплое с частыми туманами. Средняя температура июля +18 — 21°. Суровая зима, маломощный снежный покров способствуют глубокому сезонному промерзанию почв до 2—3 м, а на болотах до 1,1 м. Только в северной таежной зоне встречается в виде линз островная многолетняя мерзлота болотного типа мощностью 2—3 м. Глубина до мерзлых пород 0,8—1 м, т. е. многолетняя мерзлота сливается с сезонной.

Большая часть региона относится к зоне хвойно-широколиственных лесов, которые практически сохранились в районе предгорий, останцовых возвышенностей и рёлок. Остальная часть из-за сильной заболоченности занята луговой и болотной растительностью. Почвы подзолисто-бурые и луговые подбелы, на заболоченных участках — полуболотные и болотные. На крайнем севере заходит таежная зона с лиственнично-березовыми лесами и бурыми таежными почвами.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

В тектоническом отношении регион соответствует кайнозойской межгорной впадине наложенного типа. Фундамент впадины имеет сложное блоковое строение и представляет собой сочетание многочисленных, сравнительно крупных грабеноподобных погружений, разделенных поднятиями, горстами и выступами, которые поднимаются над поверхностью равнин в виде останцовых сопок[1] и даже среднегорных и низкогорных хребтов: Вандан, Хехцир, Щуки-Поктой и др.

Глубина залегания складчатого основания в бортовых частях 1000—1500 м, в отдельных грабенах достигает 2700 м (Варнавский, 1965, 1971; Геология СССР, 1966). В центральной части впадины глубина залегания фундамента 500—1000 м. Чехол впадины имеет двухъярусное строение. В основании его залегают континентальные угленосные отложения палеоген-миоцена, выполняющие изолированные грабены и грабен-синклинальные структуры, разделенные поднятиями (горстами). Вдоль крупных разломов, ограничивающих впадину на востоке и западе, широко развиты вулканогенные образования базальтовой формации. В центральной части впадины незначительные покровы последних локализируются в местах пересечения северо-западных и субширотных разломов с северо-восточными. Палеогеновые и миоце-

[1] Останцовые хребты сложены породами терригенно-кремнисто-вулканогенной (P_{1-2}), терригенной (Т—К), андезитовой (K_2) и гранитоидной (K_2) формаций, описание которых дано в соседних регионах.

новые отложения залегают пологоволнисто. Образованные ими брахискладки, как правило, с пологим падением крыльев до 5—10° и ориентированы удлиненной осью в северо-восточном направлении. У бортов погружений и грабенов углы падения пород достигают 30—40° и более. Верхний структурный ярус образован плиоцен-четвертичными отложениями. Они распространены более широко и перекрывают сплошным горизонтальным чехлом олигоцен-миоценовые отложения, а в прибортовых частях впадины залегают непосредственно на породах фундамента (рис. 51).

Угленосная моласса палеоген-миоцена обнажается по краям впадины, погружаясь в центральных частях под мощный чехол четвертичных осадков. Накопление толщи происходило в условиях дифференцированных движений фундамента и сопровождалось вулканической деятельностью на сопредельных территориях, с чем связаны значительная туфогенность пород и наличие прослоев туффитов. Большую часть толщи составляют глинисто-алевролитовые образования фаций озерно-болотного комплекса с многочисленными прослоями углей и углистых фаций торфяных болот, переслаивающихся с песками руслово-пойменного комплекса. По окраинам впадин доминируют грубообломочные песчано-галечниковые и щебнистые отложения. В нижней части разреза, в ее центральной части, распространены слабо сцементированные песчаники разной зернистости с многочисленными прослоями конгломератов, гравелитов, туффитов и подчиненными линзами аргиллитов, алевролитов. Мощность формации непостоянна и изменяется от 10—50 м в окраинных частях до 770 м в центральной части (по геофизическим данным до 1000 м).

Песчаники преимущественно кварц-полевошпатовые, иногда полимиктовые. Характерно значительное содержание пирокластического материала. Текстура косослоистая, косоволнистая; в средней и верхней частях встречаются пачки с тонкой параллельной или горизонтальноволнистой слоистостью. В основании толщи породы плохо сортированы, вверху сортировка хорошая. В нижней части разреза преобладают крупно- и среднезернистые песчаники, в средней и верхней — мелкозернистые песчаники. В рассеянном виде встречаются включения гравия и гальки. Цемент глинисто-алевритовый; в основании — глинисто-карбонатный или карбонатный (кальцитовый). В составе глинистой фракции преобладает каолинит. Вблизи углистых отложений отдельные прослои сцементированы сидеритом, иногда марказитом. Количество цемента обычно не превышает 20—35%. Цемент типа заполнения пор и редко базальный. Карбонатность песчаника 0,5—1%, известковистых песчаников до 30—40%. Плотность их возрастает с глубиной залегания: на глубине более 1000 м пористость не превышает 20% (коэффициент пористости 0,25); объемная масса 1,9—2,57, в среднем 2,21 г/см^3. Выше 850 м средняя пористость увеличивается до 20—25%; объемная масса уменьшается до 1,88—2,43, в среднем 2,08 г/см^3. Песчаники обычно некрепкие, слабо сцементированные, трещиноватые. В верхней части встречаются пески с прослоями гравия. Кварц-полевошпатовые пески чаще гравелистые (гравия 30—40%), сильноглинистые (количество фракции менее 0,005 мм — 10—20; фракции 0,005—0,001 мм — 1—4; фракции менее 0,001 мм — 3—19%) (5 определений). Гравий обычно крупный: фракция 10—5 мм составляет 44—55%; фракция 5—2 мм составляет 11—17; 2 — 0,5 мм достигает 13—23; фракция 0,5—0,1 мм — 13—24; менее 0,1 — 5%. Сильная глинистость, каолинизация песков, вероятно, являются следствием выветривания полевошпатовой фракции. Глины и алевриты (суглинки), как правило, аргиллитоподобные,

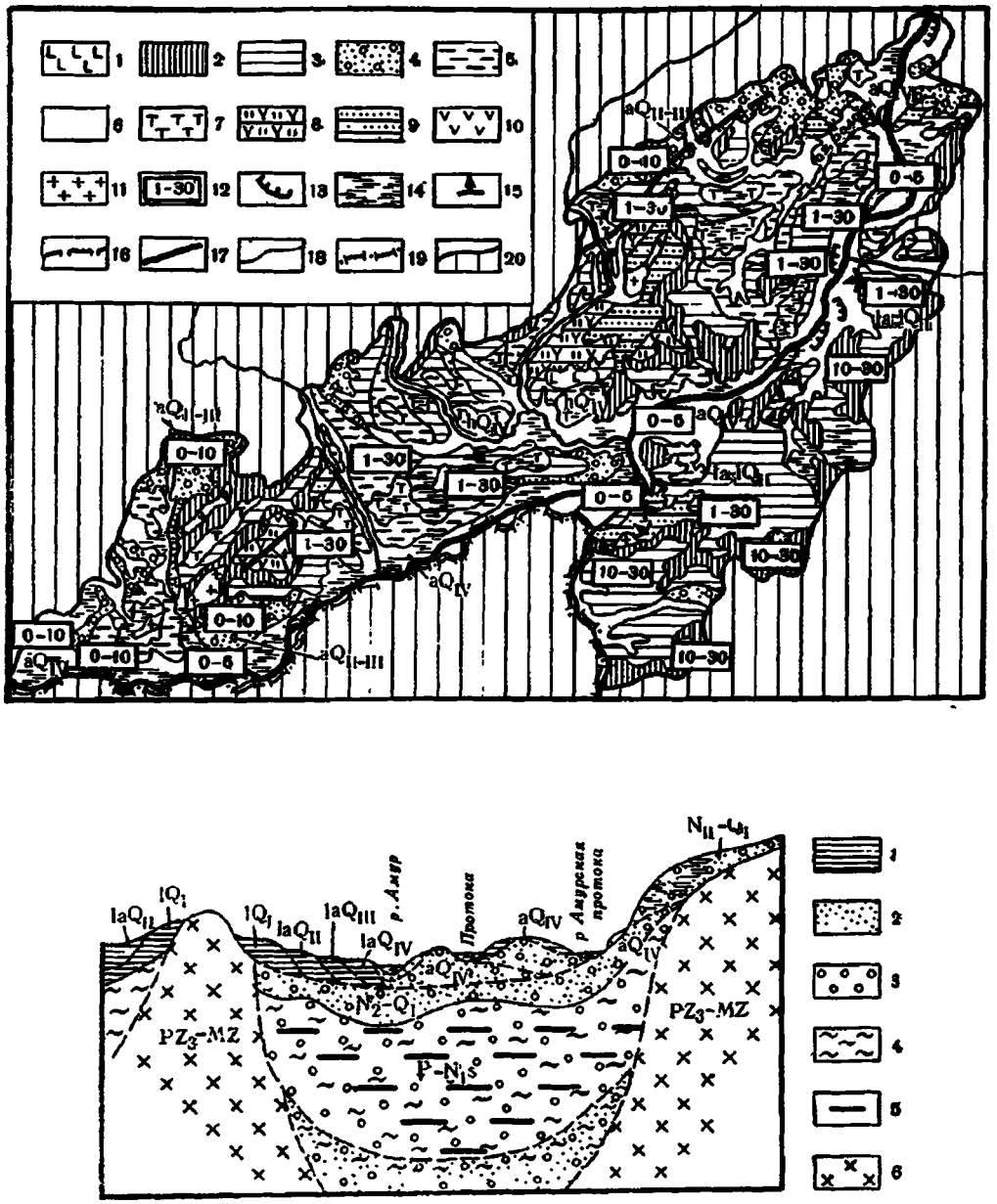


Рис. 51. Схематическая инженерно-геологическая карта Средне-Амурского региона: 1 — базальтовая формация (N_1). Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений: 2 — нижнеплейстоценовые озерные (lQ_I); 3 — среднеплейстоценовые озерно-аллювиальные и озерные (la, lQ_{II}); 4 — средне-верхнеплейстоценовые аллювиальные (aQ_{II-III}); 5 — верхнеплейстоценовые и голоценовые озерно-аллювиальные (laQ_{III-IV}); 6 — голоценовые аллювиальные (aQ_{IV}); 7 — голоценовые озерно-болотные (hQ_{IV}). Формации фундамента: 8 — терригенно-кремнисто-вулканогенная (P_{1-2}); 9 — терригенная (T—K); 10 — андезитовая (K_2); 11 — гранитоидная (K_2); 12 — глубина залегания грунтовых вод; 13 — подмыв берегов; 14 — заболоченность; 15 — оползни; 16 — граница островной многолетней мерзлоты; 17 — разломы; 18 — граница геолого-генетических комплексов; 19 — государственная граница, 20 — граница региона и сопредельные территории. Схема взаимоотношений кайнозойских отложений. Хабаровская мульда: 1 — глина; 2 — пески; 3 — гравий, галька; 4 — переслаивание глин, алевролитов, аргиллитов; 5 — лигниты, бурые угли; 6 — породы фундамента

распространены в верхней части разреза. Текстура их однородная неслоистая открытых озер, реже отмечается параллельная и волнистая слоистость пойменных озер. В алевритовой фракции преобладает кварц и кремний, реже полевые шпаты. Глинистая фракция каолинитово-гидрослюдистого состава с примесью монтмориллонита и бейделлита. Каолинитовые глины приурочены к нижней части разреза (палеоцен — эоцен), гидрослюдистые — к верхней (олигоцен — миоцен). Много органических остатков в виде углефицированного материала, диффузно рассеянного битуминозного вещества и пирокластических туфогенных обломков. В отложениях старичных, зарастающих озер и болот отмечаются многочисленные сидеритовые, глинисто- и кремнисто-сидеритовые конкреции от 0,2—5 см до крупных караваевидных толщиной 0,5 м. Содержание сидерита колеблется от 1 до 60%. Карбонатность не превышает 0,5 — 1%. В рассеянном виде встречается галька разнообразной формы. Глины, как правило, тяжелые, что объясняется формированием их в крупных озерных бассейнах в условиях теплого, даже жаркого влажного климата с интенсивным развитием процессов химического выветривания. Содержание глинистой фракции достигает 70—90%; число пластичности от 16 до 40. Формирование глинистых и песчаных алевритов связано с периодическим обмелением озер и сокращением их размеров. Вулканическая деятельность, обогащавшая осадки вулканическими пеплами, привела к уменьшению их дисперсности. Гранулометрический состав алевритов по единичным анализам следующий: фракция 5—1 мм составляет 23—24%; 1—0,5 мм — 13—14; 0,5—0,05 мм — 21; 0,05—0,005 мм — 11—21; фракция менее 0,005 мм составляет 15—26%. Пористость глинистых пород от 15 до 30, чаще 20—25% (коэффициент пористости 0,25—0,33), что указывает на сильное уплотнение и высокую степень литификации. Только отдельные слои глин имеют пористость до 40%, а единичные образцы — до 50%. С глубиной пористость глин и алевритов уменьшается, глубже 130 м обычно распространены алевролиты и аргиллиты, пористость которых по единичным анализам не превышает 5%. Объемная масса 2,61—2,67 г/см^3; плотность 2,7—2,76 г/см^3; водопоглощение 0,47—1,5.

Базальтовая формация миоцена представлена базальтами мощностью от 16 до 200 м, слагающими разобщенные покровы. В составе формации распространены плотные и пористые базальты, крупнопористые и кавернозные, переслаивающиеся между собой. Плотные базальты обычно приурочены к нижним частям, пористые доминируют в верхних частях лавовых потоков.

Физико-механические свойства миоценовых базальтов приведены ниже.

	Плотные базальты	Пористые базальты
Плотность, г/см^3	2,94	3,05
Объемная масса, г/см^3	2,5—2,83	2,05—2,55
Пористость, %	2,7—16,5	20—32
Водопоглощение	0,4	4,9
Временное сопротивление сжатию, 10^5 Па:		
в сухом состоянии	540—2260	310—1150
под водой	450—2218	275—1080
Коэффициент размягчаемости	0,89	0,78—0,9
Износ в барабане Деваля, %	3,1	4,98
Число определений	10	10

Аллювиальные плиоцен-нижнеплейстоценовые отложения на большей части территории перекрыты чехлом более молодых четвертичных осадков и лишь местами выходят на поверхность. Осадки отлагались

равнинными реками в условиях умеренно теплого влажного климата. Скорость течения рек уменьшалась с плиоценового времени к раннеплейстоценовому, с чем связано постепенное уменьшение дисперсности осадков. Состав отложений песчано-гравийно-галечниковый. Гравийно-галечниковые отложения приурочены к нижней части разреза. В средней и верхней доминируют пески. Мощность отложений колеблется от 5—10 м в краевой части депрессии до 76—120 м в центральной части. Средняя мощность 40—50 м. Мощность прослоев от 4 до 18 м. Гравийно-галечниковые отложения относятся к русловой фации. Содержание гравия и гальки в сумме составляет 50—89, в среднем 71% (15 определений). Преобладает мелкая галька диаметром 2—5 см, на долю которой приходится 20—50%. Около 10—20%, как правило, составляет гравий самых разных размеров и столько же галька крупнее 5 см. Изредка встречаются мелкие валуны диаметром 10 см. В составе отложений доминируют кварц, кремнистые сланцы, фельзит-порфиры, роговики, базальты, алевролиты. Степень окатанности обломочного материала улучшается с приближением к центру впадины; степень выветривания довольно высокая. Галька эффузивов и глинистых сланцев легко рассыпается при нажатии пальцами. Заполнитель — чаще песок крупный или средней крупности. В нижней части отложений заполнителем нередко являются супесь, суглинок или глина, цементирующие галечники до состояния слабых конгломератов. Естественная влажность гравийно-галечниковых отложений (по единичным анализам) 12—14%; объемная масса 1,96—2,07 г/см^3; объемная масса скелета 1,78—1,85 г/см^3; плотность 2,7—2,78 г/см^3; пористость 35—38% (коэффициент пористости 0,54—0,62).

Пески кварцевые, кварц-полевошпатовые, косослоистые. В верхней части разреза и по периферии депрессии нередко полимиктовые, сильно слюдистые. Гранулометрический состав закономерно изменяется сверху вниз по разрезу: вверху распространены пески средней крупности и мелкие. Гранулометрический состав песков средней крупности (10 определений) следующий: фракция 2—0,5 мм составляет 1—30, в среднем 10%; 0,5—0,25 мм — 32—65, в среднем 48%; 0,25—0,05 мм — 33—53, в среднем 36%; фракция менее 0,05 мм составляет 2—15, в среднем 6%. В мелких песках (26 определений) фракция 0,25—0,05 мм составляет 50—80, в среднем 58%; фракция 0,5—0,25 мм — в среднем 10%. Характерно повышенное количество фракции менее 0,005 мм от 5 до 15, в среднем 8%, максимальные значения которой приурочены к окраинам впадины. Среднюю часть разреза слагают крупные и гравелистые пески с линзами и прослоями галечников, количество которых возрастает к подошве слоя. Они обычно содержат значительную примесь гравия (11—38%); фракции 2—0,25 мм содержится 55—70%. Физические свойства гравелистых каолинизированных песков (по единичным анализам) следующие: естественная влажность 10—18%; плотность 2,7—2,78 г/см^3; объемная масса 2,09—2,17 г/см^3; объемная масса скелета 1,78—1,85 г/см^3; пористость 30—38% (коэффициент пористости 0,43—0,62).

Озерные нижнеплейстоценовые отложения слагают останцы высоких древних террас (относительная высота от 35 до 80 м), примыкающих к отрогам гор. Формирование осадков происходило в условиях пресноводных озерных водоемов, в слабо восстановительной среде, в эпоху слабых эпейрогенических движений и умеренно теплого влажного климата. Преобладают глины с прослоями и линзами суглинков. В основании встречаются линзы водоносного песка, супеси или гравия. Мощность комплекса колеблется от 10 до 45 м. Глины плотные полу-

твердые и твердые, горизонтально-слоистые. Минералогический состав глинистой фракции монтмориллонитовый с примесью бейделлита и гидрослюд или гидрослюдисто-бейделлитовый. Формирование минералов монтмориллонитовой группы объясняется существованием в эту эпоху лесостепных ландшафтов с участием широколиственных пород. Для гранулометрического состава характерно высокое содержание фракций менее 0,005 мм. На юго-востоке и в северной части чаще 60—65% (190 определений), на юго-западе в среднем 81%; соответственно на долю фракции менее 0,001 мм приходится 36—38 и 64%; фракции более 0,05 мм содержится 5—6 и 2%, т. е. преобладают тяжелые глины, что подтверждает существование крупных, относительно глубоких озер с устойчивым режимом. Значительная вытянутость депрессии с севера на юг и изменение климата в том же направлении, в свою очередь, отражались на дисперсности осадков. В прибрежных зонах, вблизи отрогов Сихотэ-Алиня дисперсность глин уменьшается; нередко глины замещаются тяжелыми суглинками с включениями дресвы. По коэффициенту агрегированности глины относятся к породам с пластифицированно-коагуляционными структурами. Коэффициент агрегированности глинистой фракции 1,8—2,5. Пластичность отражает вещественный состав: предел текучести чаще 40—50%; предел раскатывания 18—22%; число пластичности 21—25 (210 образцов).

Таблица 55

Физические свойства нижнеплейстоценовых глин

(средние значения)

Местоположение	Глубина, м	Естественная влажность, %	Объемная масса, г/см³	Объемная масса скелета, г/см³	Пористость, %	Коэффициент пористости	Показатель консистенции	Число определений
Амур, Хабаровск	до 3	24	1,98	1,62	42	0,71	0,2	50
То же	3—6	20	2,03	1,7	36	0,66	0	30
» »	глубже 6	18	2,09	1,78	33	0,5	<0	30
Амур, Бабстово	до 3	26	1,87	1,48	46	0,85	0,3	20
То же	3—5	21	1,93	1,6	40	0,67	0	20

Физические свойства глин указывают на значительную степень уплотнения, литификации, дегидратации (табл. 55). Плотность колеблется в широких пределах (от 2,6 до 2,78, чаще 2,7 г/см³). Естественная влажность и пористость глинистых грунтов резко уменьшаются с глубиной. Если с поверхности естественная влажность может достигать 28%, то глубже 5—10 м — только 15—20%; вблизи водоносных горизонтов естественная влажность вновь возрастает до 33—40%.

Значительное уплотнение и литификация пород привели к усилению структурных связей, увеличению их прочности в невыветрелой зоне. Механические свойства озерных нижнеплейстоценовых глин приведены ниже.

	Глубина, м	
	до 3	3—10
Коэффициент сжимаемости при нагрузке 30 Н/см², 10^{-5} Па$^{-1}$	0,01	0,005
Модуль деформации, 10^5 Па	138	300
Сцепление, 10^5 Па	0,6	1
Угол внутреннего трения, градус	16	18
Сдвигающее усилие, 10^5 Па	1,7	2,4
Число определений	60	40

По коэффициенту сжимаемости глины относятся к среднесжимаемым. Модуль деформации находится в прямой зависимости с вещественным составом, влажностью и плотностью пород. В верхней зоне до глубины 3 м глины разуплотнены и гидратированы, модуль деформации при нагрузке 30 Н/см^2 составляет $138 \cdot 10^5$ Па. Глубже 3 м с уменьшением влажности и пористости возрастает модуль деформации. Усиление структурных связей в нижележащих горизонтах приводит к увеличению сцепления и сдвигающего усилия.

Элюво-делювиальные нерасчлененные четвертичные отложения встречаются по окраинам депрессии, вблизи горных сооружений, где они маломощным чехлом перекрывают высокие озерные, аллювиальные террасы или предгорья. Мощность их колеблется от 2 до 10 м. В составе комплекса распространены суглинки, реже глины с неравномерным содержанием щебня или глыб. Количество обломочного материала, как правило, увеличивается сверху вниз от 5 до 50%. Гранулометрический состав отличается удивительным разнообразием: легкие, средние и тяжелые суглинки, супеси и глины. Преобладают средние суглинки с содержанием фракции менее 0,005 мм от 10 до 30, чаще 15—25%. Количество пылеватой фракции обычно высокое (45—55%) (70 определений); песчаной — от 10 до 70%; предел текучести в среднем 34%; предел раскатывания 22%; число пластичности 12 (70 образцов). Разнообразие вещественного состава сказывается на физических свойствах, которые варьируют в широких пределах.

	Облучинский район	Комсомольский район
Естественная влажность, %	20	18
Объемная масса, г/см^3	1,9	2,05
Объемная масса скелета, г/см^3	1,5	1,75
Пористость, %	43	36
Коэффициент пористости	0,75	0,56
Число определений	10	30

Озерно-аллювиальные средне-, верхнеплейстоценовые и голоценовые отложения слагают плоские или слабоволнистые заболоченные поверхности I, II и III террас с относительными высотами соответственно 2,5—4 м, 5—10 и 15—25 м. Формирование осадков происходило в условиях неглубоких пресноводных приречных или пойменных озер, в восстановительной среде. Озера периодически зарастали, заболачивались, в засушливые годы нередко пересыхали. Умеренный влажный климат способствовал развитию таежных ландшафтов. Только во второй половине среднеплейстоценовой эпохи отмечалось похолодание с развитием лесотундровых и северотаежных ассоциаций. В составе комплекса доминируют глины, переслаивающиеся или взаимозамещающиеся суглинками. Изредка внизу встречаются прослои песков и супеси. Мощность комплекса варьирует от 5 до 45, чаще 10—30 м.

Глины и суглинки влажные и сильновлажные, пластичные с включениями вивианита. Текстура горизонтально-слоистая, пологоволнистая, неясно выраженная. Характерна значительная примесь растительных остатков (до 6—10%). В минералогическом составе глинистой фракции преобладают гидрослюды с примесью каолинита, бейделлита, хлорита, монтмориллонита. Содержание последнего наиболее значительно в голоценовых осадках. Преобладание гидрослюд связано как с широким распространением гранитоидов на водосборных площадях, так и с умеренным климатом. Наличие монтмориллонита, по-видимому, объясняется развитием покровов базальтов по периферии впадины.

Гранулометрический состав комплекса характеризуется значительной изменчивостью. В составе среднеплейстоценовых отложений преобладают пылеватые глины со средним содержанием глинистой фракции от 44 до 50% (200 определений) и незначительной примесью (чаще 4—10%) песчаной фракции, что говорит о формировании их в озерах с устойчивым режимом. Прослои суглинков встречаются относительно редко. Среди них преобладают тяжелые суглинки с примесью песчаной фракции до 15—25%. В составе верхнеплейстоценовых и голоценовых отложений глины менее дисперсные. Содержание глинистой фракции чаще составляет 34—46%. Наряду с глинами широко распространены и суглинки, как средние, так и тяжелые с содержанием глинистой фракции 18—25% (60 определений). В отдельных прослоях отмечается значительная примесь песчаной фракции (до 30—40%), что указывает на наличие течений в озерах. Плотность колеблется в очень широких пределах (от 2,5 до 2,75, в среднем 2,63—2,66 г/см^3), что связано как с неоднородностью минералогического состава, так и с различным содержанием растительных остатков. Пластичность тесно взаимосвязана с гранулометрическим составом. При среднем содержании глинистой фракции 36—45% число пластичности 13—16. С увеличением глинистой фракции до 45—49% число пластичности возрастает до 14—17, при содержании фракции менее 0,005 мм 50—55% число пластичности достигает 18—20. Занижение пластичности объясняется, вероятно, спецификой формирования осадков, когда основным процессом литогенеза является усадка, что приводит к необратимому свертыванию коллоидов и уменьшению пластичности грунтов. Возможно, на уменьшение пластичности оказывает влияние и присутствие слабо гидрофильных минералов каолинитовой группы. Естественная влажность довольно высокая: у среднеплейстоценовых глинистых осадков она варьирует от 21 до 33, в среднем 27—29%, превышая предел раскатывания, что указывает на тугопластичную или пластичную консистенцию (показатель консистенции 0,4—0,6); у верхнеплейстоценовых и голоценовых отложений естественная влажность колеблется от 26 до 48, в среднем 30—37%. Естественная влажность приближается, а иногда даже превышает предел текучести и, следовательно, консистенция наиболее молодых глинистых грунтов мягкопластичная или скрытотекучая (показатель консистенции 0,7—0,8). Физические свойства глинистых осадков данного комплекса тесно взаимосвязаны с гранулометрическим составом, возрастом и условиями залегания (табл. 56). Наибольшая пористость отмечается у наиболее дисперсных пылеватых глин с содержанием глинистой фракции 50—55%. Объемная масса этих глин 1,79—1,88 г/см^3; пористость 46—52% (коэффициент пористости 0,85—1,2). У глин с содержанием глинистой фракции 45—49% объемная масса увеличивается до 1,89—1,92 г/см^3, пористость уменьшается до 42—45% (коэффициент пористости 0,72—0,82). Наименьшей пористостью (38—45%) отличаются неоднородные суглинки с примесью песчаной фракции. В пределах каждой литологической разновидности максимальные значения объемной массы грунта и скелета характерны для осадков среднеплейстоценового, минимальные — для голоценового возраста. Некоторое уменьшение пористости происходит и с глубиной залегания, хотя из-за слоистости, неоднородности осадков не всегда можно это проследить. Механические свойства глин приведены в табл. 57.

По коэффициенту сжимаемости как глины, так и суглинки относятся к среднесжимаемым (при нагрузке 30 Н/см^2 коэффициент сжимаемости в среднем $0{,}02 \cdot 10^{-5}$ Па$^{-1}$), но встречаются и чрезмерно сжимаемые иловатые грунты. Как правило, они приурочены к голоценовым

Таблица 56

Физические свойства средне-верхнеплейстоценовых и голоценовых озерно-аллювиальных глинистых грунтов

(средние значения)

Местоположение	Глубина, м	Естественная влажность, %	Объемная масса, г/см³		Коэффициент пористости	Показатель консистенции	Число определений
			влажной породы	скелета			
Глины среднего плейстоцена							
Амур, IV—V терраса, Бабстово	до 3	29	1,88	1,45	0,84	0,6	30
Уссури, III надпойменная терраса	до 3	28	1,93	1,52	0,75	0,55	15
Амур, IV—V терраса, Хабаровск	до 3	27	1,98	1,51	0,75	0,4	20
Биджан—Унгуи	до 3	28	1,91	1,92	0,92	0,45	40
Междуречье Бол. Ин—Икура	до 5	27	1,9	1,53	0,76	0,45	50
Глины позднего плейстоцена							
Амур, II терраса, Бабстово	до 6	29	1,86	1,47	0,85	0,7	30
То же	до 5	31	1,87	1,44	0,85	0,6	50
Суглинки среднего плейстоцена							
Амур, IV—V терраса, Бабстово	до 2	22	1,94	1,59	0,72	0,1	20
Амур, IV—V терраса к югу от г. Комсомольска-на-Амуре	до 3	28	1,97	1,62	0,75	0,55	15
То же	3—6	24	2,08	1,68	0,62	0,4	12
Амур, IV—V терраса, Хабаровск	до 5	25	2,03	1,65	0,64	0,4	20
Суглинки позднего плейстоцена							
Амур, II терраса, Хабаровск	до 6	35	1,96	1,6	0,8	0,7	20
Биджан	до 3	27	1,98	1,58	0,8	0,5	25
Суглинки позднего плейстоцена-голоцена							
Правобережье Уссури	до 5	37	2	1,63	0,67	0,7	30
Долина р. Бира	до 3	30	1,9	1,48	0,84	0,8	30
Оторфованные суглинки голоцена							
Амур, I надпойменная терраса	до 3	44	1,76	1,3	1	1,1	20
Бол. Ин, I терраса, Смидовичи	до 3	35—67	1,46—1,8	1,2—1,4	1,1—1,3	1—1,7	10

осадкам. Наибольший модуль деформации у среднеплейстоценовых глин.

Сцепление у среднеплейстоценовых глин чаще $0{,}5 \cdot 10^5$ — $0{,}7 \cdot 10^5$ Па, у верхнеплейстоценовых — $0{,}2 \cdot 10^5$ — $0{,}4 \cdot 10^5$, а у голоценовых — только $0{,}01 \cdot 10^5$ — $0{,}2 \cdot 10^5$ Па. Это связано с увеличением пористости и влажности от верхнеплейстоценовых к голоценовым глинам. В том же направлении изменяется и сдвигающее усилие. Углы внутреннего трения колеблются в очень широких пределах (от 11 до 27°).

Таблица 57

Механические свойства средне-верхнеплейстоценовых и голоценовых аллювиально-озерных глинистых грунтов

Местоположение	Глубина, м	Модуль деформации при нагрузке $3 \cdot 10^5$Па, 10^5Па	Сцепление, 10^5Па	Угол внутреннего трения, градусы	Коэффициент внутреннего трения	Сдвигающее усилие при нагрузке $3 \cdot 10^5$Па, 10^5Па	Число образцов
Средний плейстоцен							
Хабаровский район	до 3	100—135 115	0,17—0,65 0,5	10—27 17	0,16—0,55 0,3	0,8—1,5 1,2	40
Биробиджанский, Ленинский районы	3—8	150—220 180	0,5—0,9 0,7	11—22 19	0,17—0,4 0,35	1,5—1,8 1,6	40
Бабстово	до 3	138—166 155	0,27—0,57 0,35	17—20 18	0,31—0,37 0,33	1,2—1,8 1,5	15
Поздний плейстоцен							
Междуречье Ин—Икура	до 6	—	0,07—0,6 0,25	3—22 12	0,015—0,4 0,2	0,9—1,5 1,2	30
Правобережье Уссури	до 6	90—110 100	0,11—0,6 0,36	11—25 12	0,17—0,48 0,2	1,2—1,6 1,3	20
Голоцен							
I надпойменная терраса р. Амур (суглинки скрытотекучие)	до 3	45—90	0,07—0,1 0,08	1—4 3	0,01—0,07 0,05	—	10

Примечание. В числителе приведены минимальные и максимальные значения, в знаменателе — средние.

Угол внутреннего трения песчаных глин и суглинков выше 22°, у пылеватых мягкопластичных глин и суглинков он снижается до 11—15°. В голоценовых глинах встречаются прослои скрытотекучих иловатых глин с углами внутреннего трения 1—4°.

Аллювиальные средне-верхнеплейстоценовые и голоценовые отложения слагают поймы, I, II, III и IV надпойменные террасы рек Амура, Уссури и их притоков (Биры, Тунгуски, Урми и др.). В центральной части депрессии в составе аллювия доминируют пески средней крупности и мелкие. Лишь в основании разреза они сменяются гравелистыми песками и галечниками. В долинах левых притоков Амура, стекающих с высокогорных Буреинского и Баджальского хребтов, галечники составляют основную часть разреза. В долинах правых притоков, берущих начало в средневысотных и низких горах Сихотэ-Алиня, наряду с галечниками много гравия и гравелистых песков. С поверхности слоем от 0,3 до 4—5 м распространены пойменные суглинки с прослоями и линзами глин. Очень четко выражена дифференциация аллювия в направлении от русла к тыловому шву. В разрезе преобладает русловая фация. Наличие низких меженных расходов обусловливает сезонное заиление не только пойменного, но и руслового аллювия. Мощность аллювия колеблется от 10 до 70 м.

Галечники обычно с косослоистой текстурой и содержат 40—60% хорошо, реже среднеокатанной гальки. Гранулометрический состав ха-

рактеризуется неоднородностью. Преобладает мелкая галька размером 2—5 мм, составляющая чаще 30—40%. В северной части впадины 10—20% приходится на гальку 70—50 мм и от 9 до 40% — на фракцию более 70 мм (200 определений). В низовьях р. Хор, на междуречье Ин—Икура преобладают гравийно-галечниковые отложения с прослоями галечника. В их составе преобладает гравий диаметром 10—2 мм (26—50%), фракция 50—20 мм колеблется от 2 до 13, реже до 32%; гальки размером 10—20 мм содержится 8—19%. Галька крупнее 5 см встречается в отдельных прослоях и не превышает 6—10%. В составе гальки в юго-западной и западной частях региона преобладают граниты, диориты, реже кварцевые порфиры, фельзиты, андезиты до 80—85%; в небольшом количестве встречается галька песчаников, глинистых сланцев до 4—11%. В восточной части региона 90% составляет галька эффузивов. Галька в отложениях позднего плейстоцена и голоцена свежая невыветрелая. Степень выветривания среднеплейстоценового галечника более высокая. Наиболее выветрелы гальки эффузивов и гранитов. Заполнителем обычно являются разнозернистые, чаще гравелистые пески. Содержание песчаного заполнителя увеличивается сверху вниз от 10 до 40%. В естественном залегании сложение галечников плотное. Плотность 2,5—2,6 г/см³; пористость 26—34%. Потеря в весе при испытании на морозостойкость колеблется от 9,8 до 20,1% (33 пробы). Физические свойства пород приведены в табл. 58. Пески

Таблица 58

Физические свойства средне-верхнеплейстоценовых и голоценовых аллювиальных осадков

(средние значения)

Местоположение	Литология	Естественная влажность, %	Объемная масса, г/см³		Коэффициент пористости	Число определений
			грунта	скелета грунта		
Осадки позднего плейстоцена						
Долина р. Биры	крупный галечник	20	2	1,66	0,5	15
Амур, р-н Комсомольска-на-Амуре	галечник	24	2,1	1,7	0,35	30
Низовья р. Хор, с. Дормидонтовка	галечник	23	2	1,65	0,5	20
	гравий с песком	25	2	1,69	0,5	10
Амур, I надпойменная терраса, с. Ленинское	пески крупные	12	1,8	1,6	0,53	10
То же	пески средней крупности	7	1,96	1,8	0,47	15
Осадки позднего плейстоцена-голоцена						
Долина р. Биры	пески средней крупности	6	1,8	1,71	0,5	15
Междуречье Бол. Ин — Тунгуска	то же	20	1,85	—	0,83	20
Пос. Богородское	пески пылеватые		1,57	—	0,6	10
Осадки голоцена						
Пойма Амура в устье Кезри	пески мелкие	—	1,35	—	—	12

характеризуются двучленным профилем. В нижней части разреза доминируют гравелистые и крупные пески (фракции более 2 мм содержится 11—16%); в верхней части — пески средней крупности и мелкие.

Текстура песков диагонально-слоистая, косоволнистая, линзовидно-перемежающаяся; на пойме — пологоволнистая. Цвет песков желтый, серовато-желтый, в нижней части, из-за оглеения, голубовато-серый. Особенно интенсивное оглеение отмечается в центральной и северной таежной зоне. В южных лесостепных районах оно почти не развито. Минералогический состав песков характеризуется большим разнообразием. Распространены пески полимиктовые, кварц-полевошпатовые, встречаются кварцевые. По гранулометрическому составу преобладают средние и мелкие пески. Первые наиболее часто встречаются в предгорных районах. В их составе фракция 0,5—0,25 мм составляет от 55 до 80% (130 определений); фракция 1—0,5 мм чаще колеблется от 5 до 20%; 2—1 мм содержится от 2 до 12%; фракция более 2 мм не превышает 7, редко до 20% (долина р. Уссури, г. Хабаровск). В центральной части впадины (левобережье Тунгуски, междуречье Икура - Бол. Ин) в составе песков увеличивается содержание фракции 0,25—0,1 мм до 15—30%, 0,1—0,05 мм до 10—25%; фракции менее 0,005 мм до 10, в среднем 2% (50 определений). Мелкие пески чаще слагают пойму и I надпойменную террасу. В их составе 60—80% составляет фракция 0,25—0,1 мм; по 8—15% приходится на фракции 0,5—0,25 и 0,1—0,05 мм. На поймах иногда отмечается значительная пылеватость (до 35%, в среднем 12%) и глинистость (до 8%, чаще 4—5%). Естественная влажность песков, слагающих II и III надпойменные террасы, не превышает 2—10% (выше уровня грунтовых вод), на I надпойменной террасе она возрастает до 20—25%. Плотность песков чаще 2,6—2,66 г/см^3. Наиболее высокие значения объемной массы и наименьшая пористость характерны для песков крупных и средней крупности. Максимальная пористость, как правило, отмечается у мелких и пылеватых песков (см. табл. 58). Наибольшие углы естественного откоса в сухом состоянии отмечаются у крупных песков (в среднем 40°); у мелких уменьшаются до 38°, у пылеватых до 35°; наименьшие углы характерны для песков средней крупности (в среднем до 32°). Минимальные углы откосов под водой наблюдаются у пылеватых песков (в среднем 21°); у мелких песков и песков средней крупности они составляют 25—26° (70 образцов), у крупных до 30--33°.

Суглинки и глины слагают пойменную фацию. Глинистая фракция представлена гидрослюдами с примесью бейделлита, монтмориллонита, каолинита. Гранулометрический состав глинистых отложений отличается значительной неоднородностью. Количество глинистой фракции варьирует от 11 до 47%, чаще 20—38%. Характерна высокая примесь песчаной фракции (до 50, чаще 20—30%). Песчаная фракция представлена мелким песком, но в отдельных прослоях встречается и значительная примесь песка средней крупности (до 25%), что указывает на наличие течений в период седиментогенеза. Пластичность пойменных глинистых грунтов обычно невысокая, предел текучести чаще колеблется от 28 до 39%, в среднем 32%; предел раскатывания от 18 до 23%, в среднем 19%; число пластичности от 9 до 17, в среднем 13. При содержании глинистой фракции 30—38% число пластичности только 10—15. Неоднородность состава аллювиальных глинистых осадков обусловливает и большие колебания их физических свойств. Плотность варьирует от 2,54 до 2,74 г/см^3; естественная влажность от 11 до 50%. Минимальные значения естественной влажности наблюдаются на повышенных дренированных участках прирусловой зоны, где распространены легкие и средние сильнопесчанистые суглинки; максимальные — в заболоченных понижениях, западинах. Но в целом естественная влажность пойменной фации меньше озерной, что связано со значительной расчленен-

ностью (естественным дренажем) низких террасовых уровней. Преобладающие значения влажности 22—27%, что указывает на полутвердую и тугопластичную консистенцию. Неоднородный состав глинистых пойменных осадков, широкое участие процессов усадки в формировании способствуют значительному их уплотнению. Поэтому объемная масса пойменных суглинков и глин, несмотря на голоценовый или позднеплейстоценовый возраст, отличается невысокими значениями, чаще 1,92—2,03 г/см^3; пористость 36—44% (табл. 59). При этом четко

Таблица 59

Физические свойства голоценовых и позднеплейстоценовых аллювиальных глинистых грунтов

(средние значения)

Местоположение, геологический индекс	Литология	Естественная влажность, %	Объемная масса, г/см^3	Объемная масса скелета, г/см^3	Коэффициент пористости	Показатель консистенции	Число определений
Уссури, II надпойменная терраса, aQ_{III}	суглинки сильнопесчанистые	23	2	1,61	0,66	0,3	12
Амур, I надпойменная терраса, Ленинское aQ_{IV}	суглинки	23	2,03	1,6	0,56	0,25	60
То же, aQ_{IV}	глины	27	1,87	1,39	0,8	0,24	20
Долина Амура у г. Хабаровска, aQ_{IV}	глины, суглинки . .	22	1,9	1,51	0,82	0,2	10
Амур, I—II надпойменная терраса, Биробиджанский р-н, Бабстово, aQ_{III-IV}	суглинки	27	1,92	1,5	0,85	0,35	20

прослеживается взаимосвязь физических свойств с гранулометрическим составом и степенью влажности (консистенцией) грунтов (табл. 60).

Таблица 60

Изменение физических свойств аллювиальных глинистых грунтов в связи с условиями формирования

(средние значения)

Литология	Естественная влажность, %	Объемная масса, г/см^3	Объемная масса скелета, г/см^3	Коэффициент пористости	Показатель консистенции	Число определений
Суглинки легкие и средние полутвердые и твердые (приречные поймы)	17	2,03	1,62	0,56	0	50
Суглинки тяжелые тугопластичные (внутренняя пойма)	25	1,93	1,52	0,75	0,3	50
Глины пластичные (старичная пойма)	29	1,7	1,33	0,87	0,6	20

Механические свойства пойменных глинистых грунтов позднеплейстоценового и голоценового возраста приведены ниже.

	Суглинки	Глины
Коэффициент сжимаемости, 10^{-5} Па$^{-1}$ . .	0,008—0,019	0,007—0,028
Сцепление, 10^5 Па	0,15—0,55	0,1—0,55
Угол внутреннего трения, градусы . . .	11—32	13—25
Коэффициент внутреннего трения	0,2—0,62	0,23—0,57
Сдвигающее усилие, 10^5 Па:		
при нагрузке 15 Н/см^2	0,6—1,3	0,6—1
при нагрузке 30 Н/см^2	1,4—2,7	0,9—1,5
Число определений	15	10

По коэффициенту сжимаемости пойменные глинистые грунты относятся к среднесжимаемым, а пластичные глины старичной фации — к грунтам с повышенной сжимаемостью. Модуль общей деформации $61 \cdot 10^5 — 163 \cdot 10^5$ Па. Сцепление невысокое, чаще $0{,}2 \cdot 10^5 — 0{,}3 \cdot 10^5$ Па. Углы внутреннего трения колеблются в очень широких пределах (от 11 до 40°). Максимальные значения характерны для сильнопесчанистых полутвердых суглинков, минимальные — для пластичных глин.

Озерно-болотные голоценовые отложения распространены на низких террасовых уровнях депрессии и на плоских междуречьях с относительной высотой 15—25 м. Массивы торфяников охватывают огромные площади. Формирование торфяников началось в субатлантическую фазу, когда произошло изменение климата в сторону увеличения влажности (Прозоров, 1973). Верхний слой представлен слаборазложившимся сфагновым торфом мощностью 20—50 см. Под сфагновым торфом находится среднеразложившийся кустарниково-травяной и в нижних горизонтах — хорошо разложившийся травяной и древесно-травяной. Мощность торфяных залежей в среднем около 1 м, максимальная 2,5 м. В поймах рек и на юге депрессии распространены низинные болота, сложенные средне- и хорошо разложившимся гипново-осоковым торфом мощностью 1—1,5 м. Зольность торфа зависит от его ботанического состава. У сфагнового торфа она составляет 3,5—13,2%, верескового — не более 10%, у древесных видов торфа — выше 15%. Максимальная зольность отмечается у низинных вейниковых и осоковых торфов — до 20—85% (степень разложения их 15—60%). Емкость поглощения торфов довольно высокая, но содержание кальция и магния низкое, поэтому у солевой вытяжки pH 3—5. Наибольшая кислотность характерна для сфагновых болот.

Гидрогеологические условия

Регион представляет собой артезианский бассейн наложенной кайнозойской впадины, содержащий грунтовые и артезианские воды пластово-порового и пластово-трещинно-порового типа в рыхлых и слабо сцементированных породах кайнозоя. В пределах бассейна широко распространена верховодка, приуроченная к торфяникам и глинистым грунтам, слагающим почти повсеместно верхнюю часть разреза осадочного чехла бассейна. Она залегает на глубине 0,5—2 м и отличается резко переменным режимом. В период частых паводков (3—7 раз в год) верховодка выходит на поверхность, способствуя интенсивному заболачиванию территории. В засушливые периоды она иногда целиком расходуется на испарение, зимой же она перемерзает. Дебиты шурфов, вскрывающих верховодку, составляют десятые и сотые доли литра в секунду. Воды характеризуются низкой минерализацией (до 0,04—0,06 г/л), благодаря чему обладают сильной выщелачивающей агрессивностью. Они подвержены загрязнению и характеризуются повышенным содержанием органических соединений.

Грунтовые воды приурочены к аллювиальным и озерно-аллювиальным песчано-гравийно-галечниковым отложениям плиоцен-четвертичного возраста. Они образуют горизонт мощностью от 20 (Хабаровск) до 150 м (в районе Комсомольска-на-Амуре). В кровле горизонта присутствует глинистый водоупор мощностью от 8 до 40 м, который в пределах речных пойм обычно отсутствует. Глубина залегания вод составляет на поймах 0,3—2 м, на высокой пойме Амура — до 15 м. В пределах надпойменных террас она увеличивается от тыловых частей к бровкам от 3 до 55 м. На междуречных пространствах воды залегают на глубинах от нескольких метров до 70 м. Уровень вод свободный или слабонапорный. Величина напора колеблется от 3 до 30 м. В отдельных случаях на высоких речных террасах скважины дают самоизлив. Годовая амплитуда колебания уровня вод составляет на поймах 2—6 м, с удалением от рек она уменьшается до 0,3—2,5 м. Минимальные колебания (не более 0,6 м в год) уровень испытывает в центральных частях междуречных равнин, где совершенно не сказывается подпор воды реками. При интенсивной эксплуатации грунтовых вод наблюдаются местные снижения уровня на участках крупных водозаборов. Так, в районе Хабаровского водозабора, работающего на пойменных водах Амура, за период с 1956 г. уровень понизился на 3 м. В Комсомольске-на-Амуре при эксплуатации грунтовых вод долины р. Силинки общее снижение уровня с 1939 по 1956 г. достигло 26 м. Сезонные колебания уровня грунтовых вод в условиях эксплуатации сохраняются, но годовая амплитуда их увеличивается. В частности, на пойме Амура в районе Хабаровска она достигает 8 м и более.

Изменчивость состава водовмещающих пород горизонта в разрезе и по простиранию обусловливает их неравномерную обводненность. Коэффициенты фильтрации варьируют от десятых долей метра в сутки в супесях и глинистых песках до 10—30 в крупнозернистых песках и 50—200 м/сут в галечниках. Дебиты скважин колеблются от 0,1 до 100 л/с, удельные дебиты — от 0,01 до 20 л/с. В целом преобладают водообильные породы, причем наиболее водоносны плиоцен-четвертичные отложения внизу разреза. Скважины, каптирующие эту часть горизонта, в городах Хабаровск, Комсомольск-на-Амуре и других дают, как правило, дебиты от 4 до 20 л/с при понижениях уровня на 1 м. Грунтовые воды пресные с минерализацией 0,04—0,4 г/л, гидрокарбонатные кальциевые, кальциево-магниевые или смешанные по катионам, с повышенным содержанием закисного железа до 30 мг/л. Степень агрессивности вод различная. Наиболее агрессивными являются воды на поймах, где происходит быстрый водообмен с атмосферой, обусловливающий очень низкую минерализацию подземных вод. Для этих вод характерно наличие выщелачивающих, общекислотных и углекислотных агрессивных свойств. В пределах надпойменных террас и междуречий воды являются агрессивными лишь в 50% случаев, причем при минерализации более 150—180 мг/л выщелачивающая агрессивность, как правило, не проявляется.

Артезианские воды бассейна заключены в толще песчано-глинистых угленосных отложений палеоген-миоценового возраста. Водоносными являются разнозернистые пески, слабо сцементированные песчаники, конгломераты, алевриты и бурый уголь, слагающие маломощные прослои и линзы в глинах и алевролитах. Как правило, отдельные водоносные пласты гидравлически связаны между собой. Напор вод с глубиной увеличивается; для верхнего горизонта он составляет 40—70 м. Пьезометрический уровень артезианских вод обычно располагается выше уровня грунтовых вод и в периоды подъема последних на это

не реагирует. Годовые амплитуды колебания уровня напорных вод составляют 0,2—0,5 м. Водопроницаемость пород обычно характеризуется коэффициентами фильтрации 0,1—0,2 м/сут. Повышенными фильтрационными свойствами обладают трещиноватые угли (до 3—12 м/сут). Дебиты скважин составляют 0,7—5 л/с, удельные дебиты — 0,01—0,3 л/с. Водопритоки в горные выработки на участках буроугольных месторождений большей частью не превышают 50 м³/ч, редко достигают 70—120 м³/ч (Розенгартовское месторождение), в связи с чем они не создают больших сложностей при эксплуатации месторождений. По составу воды гидрокарбонатные натриево-кальциевые с минерализацией от 0,06 до 0,6 г/л, обычно неагрессивные.

Современные геологические процессы и явления

Низменный плоский рельеф, широкое распространение с поверхности водонепроницаемых грунтов, муссонный климат с дождливым летом способствуют широкому развитию на территории Средне-Амурской впадины процессов заболачивания, которые захватывают не только низкие позднеплейстоценовые и голоценовые, но и средненлейстоценовые аллювиально-озерные террасы высотой до 15—25 м. В целом процессами заболачивания охвачено не менее 80% общей площади впадины, и именно они во многом определяют инженерно-геологические условия. Большая часть впадины представляет собой сильно переувлажненные территории с оглеенными грунтами. Центральные, наиболее пониженные и наименее дренированные участки террас заняты крупными болотами площадью до 400 км². Преобладают переходные гетеротрофные кустарничково-сфагновые болота с грядово-мочажинным, иногда кочковатым микрорельефом. Только на поймах и в южной части депрессии распространены низинные болота. Все они с поверхности обводнены. Глубина болот чаще 1—1,5 м, в центре крупных болот до 2,5 м; окраинные болота неглубокие (до 0,5 м).

Муссонный климат, ливневые дожди приводят нередко к катастрофическим наводнениям на крупных реках, которые повторяются один раз в три года и очень сильные — один раз в 10 лет. Наводнения приносят огромные бедствия и разрушения. Затопляют не только луга, посевы, но и населенные пункты, размываются берега, мосты, происходит интенсификация процессов боковой эрозии.

Высокие нижнеплейстоценовые и прислоненные к ним слабонаклонные среднеплейстоценовые террасы, предгорья и останцовые возвышенности затронуты процессами овражной эрозии. Рост оврагов, как правило, связан с деятельностью человека: вырубкой леса, распашкой, строительством дорог и др. Наиболее густая сеть оврагов развита в районе холмисто-увалистых предгорий, где на 1 км² приходится 3—4 км оврагов и балок, на волнистой поверхности террас — только 2—3 км. Промоины фиксируются в основном вдоль дорог по кюветам, на склонах возвышенностей и в верховьях балок. Образование их наиболее интенсивно происходит в дождливое время и в периоды снеготаяния. Наблюдались случаи, когда в течение 5—6 ч формировались промоины глубиной 1—1,5 м с отвесными стенками до 80—85°.

Оползни и оплывины развиты преимущественно по правому берегу Амура. Классические оползни зафиксированы у западной окраины с. Елабуга, где на расстоянии 700—800 м вдоль берега отмечено пять оползневых цирков. Оползни конседвентные суффозионно-пластичные и

суффозионные, как свежие, так и старые. На участках волнистых равнин развиваются процессы пучения грунтов, особенно интенсивно в районе дорожного полотна, где нарушается тепловой режим грунтов в зимнее время.

ПРИХАНКАЙСКИЙ РЕГИОН

Регион охватывает Приханкайскую впадину, долины рек Уссури и Раздольной. Большую часть региона занимают низменные аккумулятивные плоские и слабоволнистые, неглубоко расчлененные равнины с единичными останцовыми сопками или грядами холмов. Преобладают абсолютные высоты от 50 (низовья Уссури — Раздольная) до 80 м, относительные высоты варьируют от 0,5 до 12 м. Вдоль горного обрамления и останцовых возвышенностей распространены аккумулятивно-денудационные увалистые или волнистые равнины с абсолютными высотами от 85 до 180 м и относительными от 20 до 100 м и участки холмисто-увалистых предгорий. В центре региона расположено крупнейшее озеро Приморья — Ханка площадью 4350 км^2 со средней глубиной 4 м и максимальной — 10,6 м. Реки бассейна оз. Ханка — Илистая, Спассовка, Комиссаровка — относятся к малым равнинным рекам. Из озера вытекает одна река — приток самой крупной реки региона Уссури.

Климат муссонно-континентальный, умеренный. Зима сухая, ясная, холодная; лето пасмурное, дождливое. Среднегодовая температура воздуха колеблется от 2 до 3,5°. Наиболее холодный январь, среднемесячная температура которого минус 17—19°, иногда достигает минус 38°. Характерной особенностью климата региона является отчетливо выраженная засушливость, проявляемая в пониженных показателях режима влажности. Годовая сумма осадков составляет 500—610 мм (с колебаниями от 330 до 860 мм), тогда как испаряемость 500—750 мм. В связи с этим коэффициент увлажненности не превышает 0,9—1. В летне-осенний период выпадает 60% осадков. Мощность снежного покрова 20—40 см. Маломощный снежный покров способствует глубокому (до 110—180 см) промерзанию почв, и только на болотах глубина сезонного промерзания не превышает 80—100 см.

Растительность лесостепная, сильно изменена действием человека. Высокие волнистые и увалистые равнины заняты пашнями с участками порослевых широколиственных лесов на подзолисто-бурых почвах и луговых подбелах. Низкие плоские и слабоволнистые равнины покрыты луговыми, лугово-болотными ассоциациями на лугово-глеевых или лугово-болотных почвах. Холмисто-увалистые предгорья поросли широколиственными лесами. Сейсмичность региона 5—7 баллов.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

В тектоническом отношении регион представляет собой кайнозойскую наложенную впадину, заложившуюся на разиородном основании — глубоко денудированной поверхности складчатого фундамента и чехла Ханкайского массива, а на крайнем севере и юге — на позднепалеозойских складчатых образованиях. Породы складчатого основания выходят на поверхность на ограниченных участках (метаморфическая формация). Впадина характеризуется двухъярусным строением.

В основании ее залегают континентальные угленосные отложения молассовой формации позднего эоцена-миоцена мощностью от 50 до 1000 м. Они выполняют отдельные изолированные грабены и грабен-синклинальные структуры. Верхний структурный ярус впадины образован плиоцен-четвертичными аллювиальными и озерными отложениями мощностью 20—200 м. Они залегают сплошным горизонтальным покровом на эоцен-миоценовых породах, а в прибортовых частях впадин — непосредственно на породах фундамента (рис. 52).

Метаморфическая формация протерозоя обнажается в выступах Ханкайского массива в западной и южной частях региона. Формация подразделяется на две толщи. Нижняя (ранний — средний протерозой) представлена мраморами, слюдистыми гнейсами, кварцитами, кристаллическими сланцами, реже амфиболитами и диопсидовыми породами мощностью 9000 м. Верхняя (поздний протерозой) представлена мусковитами и графитистыми сланцами, кварцитами, мраморизованными известняками мощностью до 6500 м. Характерной чертой верхнепротерозойских отложений являются выдержанность разрезов, ничтожно малое количество грубообломочного материала, присутствие в нижней части эффузивов, туфов и туфогенных пород, а в верхней — карбонатных. Породы смяты в пологие брахиформные складки, крылья которых осложнены складками, близкими к линейным. Из разрывных нарушений преобладают надвиги, взбросы и взбросо-сдвиги. Мрамор массивный, чаще диопсид-кальцитовый с подчинением форстерит-кальциевых, кальцит-доломитовых. Кварциты образуют линзы и прослои мощностью до первых десятков метров. Большей частью это разнозернистые, почти мономинеральные породы (80—90% кварца). Гнейсы и сланцы чаще биотитовые, графитистые, силлиманит-биотитовые, диопсид-амфиболовые. В верхней зоне породы сильнотрещиноватые, разбиты трещинами на плитчатые, реже листоватые обломки размером до 0,1—0,5 м. Инженерно-геологические свойства пород не изучены.

Терригенная молассовая формация позднего эоцена-миоцена выполняет тектонические депрессии, разделенные поднятиями фундамента. Во внутренних частях депрессий палеоген-неогеновые отложения залегают полого с углами падения пород до 7°, падая от бортов к центру. Местами в краевых частях и у выходов фундамента падение слоев достигает 13—15°, на локальных участках — до 60°. Формирование осадков происходило в жарком субтропическом климате, в пресноводных озерных водоемах неустойчивого режима, в эпоху тектонической активности, вулканизма, с чем связано наличие примеси туфогенного материала и прослоев туфов и туффитов. Периодическое обмеление водоемов, их заболачивание, скопление органики приводили к резко восстановительным условиям среды и накоплению прослоев лигнитов и бурых углей.

В основании формации, как правило, встречаются туфогенные песчаники, иногда конгломераты, галечники, пески озерно-аллювиального генезиса. Мощность базального горизонта колеблется от 3 до 40 м. Выше по разрезу их сменяют туфогенные алевролиты и аргиллиты с прослоями и линзами глин, лигнитов, бурых углей, липаритовых туфов, туффитов. В устье долины р. Раздольной встречаются сидериты. В верхней части разреза преобладают глины, реже суглинки мощностью от 40 до 200 м. Общая мощность формации колеблется от 50—100 м в предгорьях до 500—1000 м в депрессиях. Мощность прослоев песчаников от 3 до 40 м, алевролитов — 4—15 м, изредка 0,3—0,5 м, аргиллитов — 0,1—4 м. Туфогенные песчаники средне- и мелкозернистые, сильно ожелезненные и сильновыветрелые. Состав полимиктовый с пре-

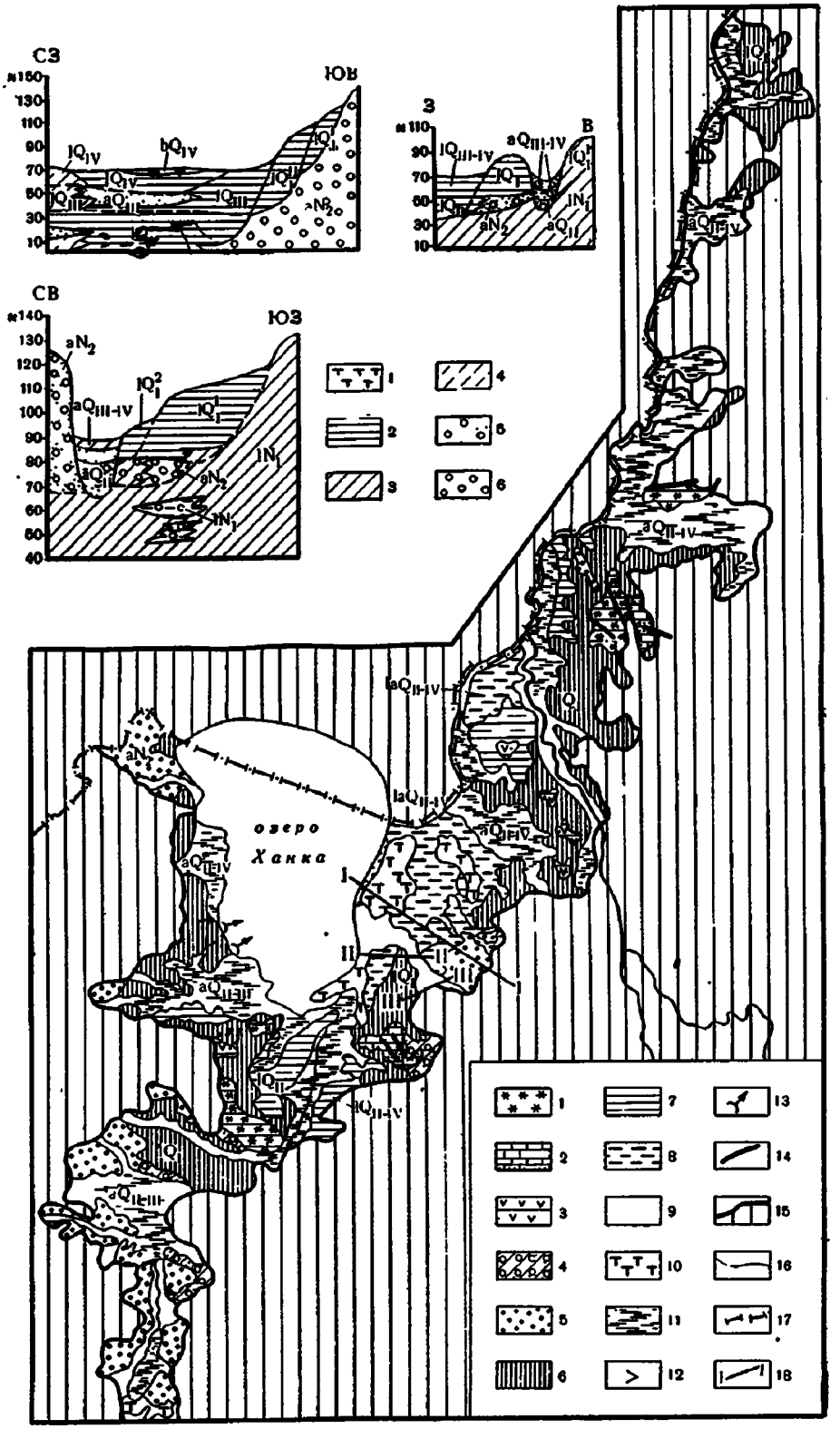


Рис. 52. Схематическая инженерно-геологическая карта Приханкайского региона. Формации 1 — метаморфическая (PR_{1-3}); 2 — терригенно-карбонатная (P); 3 — вулканогенно-терригенная (P); 4 — терригенная молассовая (P_2—N_1). Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений: 5 — плиоценовые аллювиальные (aN_2); 6 —

обладанием остроугольных зерен кварца, полевого шпата, циркона, вулканического стекла размером 0,05—0,2, редко 2—5 мм. Цемент преимущественно серицитовый, сильно слюдистый и ожелезненный. Тип цементации базальный, иногда контактовый. Алевролиты туфогенные, слюдистые плотные, тонкополосчатые с чередованием серых, зеленоватых, желто- и темно-серых полос мощностью 1—4 м. Состав полимиктовый с преобладанием угловатых зерен кварца размером 0,01—0,1 мм, реже полевого шпата, биотита, пепловых частиц с редкими включениями гравия и мелкой гальки. Цемент глинистый и кремнисто-глинистый. Аргиллиты туфогенные, иногда песчанистые, плотные, сланцеватые с линзами угля, с включением мелкой гальки. Цемент глинистый, иногда кремнистый. Глины и суглинки «сухарные» горизонтально-слоистые. Минералогический состав глинистой фракции гидрослюдисто-бейделлитовый с примесью монтмориллонита. Содержание фракции меньше 0,005 мм варьирует от 11 до 41%; 0,05—0,005 мм — от 5 до 36; более 0,05 мм — от 20 до 63%. Среднее содержание фракции менее 0,005 мм для восточного побережья 15%, западного и южного — 32%; фракции 0,05—0,005 мм соответственно 33 и 14%; более 0,005 мм — 52 и 54%. Плотность изменяется от 2,65 до 2,72 г/см^3; в поверхностной зоне (до глубины 8 м) чаще 2,72 г/см^3, глубже — 2,68 г/см^3 (Цеквава, 1973). Число пластичности 11—27, в среднем 22; предел текучести от 33 до 49, в среднем 43%; предел раскатывания от 16 до 26, в среднем 21% (30 определений). Физические свойства глинистых пород указывают на высокую степень литификации (табл. 61). Показатель уплотнения невыветрелых глин в среднем 1,2;

Таблица 61

Изменение физических свойств миоценовых глин с глубиной

(средние значения)

Глубина, м	Объемная масса, г/см^3	Объемная масса скелета, г/см^3	Пористость, %	Коэффициент пористости	Естественная влажность, %	Число определений
До 2	1,74	1,36	50	1	35,5	14
До 7—8	1,91	1,53	42,7	0,74	27,3	20
Ниже 8	2,12	1,78	32,4	0,48	16	17

показатель дегидратированности 2,7; естественная влажность 16%, меньше максимальной молекулярной влагоемкости; следовательно, консистенция породы твердая (показатель консистенции в среднем минус 0,1).

Сильная литификация глинистых пород привела к усилению структурных связей, увеличению механической прочности. Начальное сопротивление сжатию в невыветрелой зоне в среднем $2 \cdot 10^5$ Па. Глины слабосжимаемые: коэффициент сжимаемости при 30 Н/см^2 в среднем $0{,}01 \cdot 10^{-5}$ Па$^{-1}$, при нагрузке 60 Н/см^2—$0{,}008 \cdot 10^{-5}$ Па$^{-1}$. Модуль дефор-

нижнеплейстоценовые озерные (lQ_I); средне-верхнеплейстоценовые и голоценовые: 7 — озерные (lQ_{II-IV}), 8 — аллювиально-озерные (laQ_{II-IV}); 9 — аллювиальные (aQ_{II-IV}); 10 — голоценовые озерно-болотные (lhQ_{IV}); 11 — заболоченность; 12 — овраги; 13 — оползни; 14 — разломы; 15 — граница региона и сопредельные территории; 16 — границы геолого-генетических комплексов и формаций; 17 — государственная граница СССР; 18 — линии разрезов.

Разрезы: 1 — торф, 2 — глина, 3 — суглинки и глины, 4 — супесь, 5 — песок с гравием, 6 — галька

мации соответственно $106 \cdot 10^5$ и $188 \cdot 10^5$ Па (по компрессионным испытаниям). Усиление структурных связей способствовало увеличению сцепления и, следовательно, сдвигающих усилий. Сцепление в среднем $1{,}6 \cdot 10^5$ Па. Сдвигающее усилие при вертикальной нагрузке 30 Н/см^2 в среднем $2{,}5 \cdot 10^5$ Па. Углы внутреннего трения колеблются в больших пределах (от 16°30′ до 33°14′, в среднем 22°50′); коэффициент внутреннего трения от 0,296 до 0,655, средний 0,42 (20 определений). Сильная степень литификации глин является результатом больших природных нагрузок, которые достигали 100—200 Н/см^2. Немаловажную роль сыграло и усиление тектонической активности, вертикальные движения по разломам, что приводило к периодическому сокращению озерной ванны, осушению поверхности и развитию процессов усадки. Глубже 100—130 м глины, как правило, сменяются аргиллитами и алевролитами. В зоне активного выветривания, мощность которой 7—8 м, глинистые породы сильно разуплотнены и гидратированы, пористость и естественная влажность возрастают по сравнению с невыветрелыми образцами на 10—20% (см. табл. 61), что приводит к уменьшению механической прочности. Начальное сопротивление сжатию уменьшается до $0{,}5 \cdot 10^5$ Па, увеличивается сжимаемость; сцепление — $0{,}25 \cdot 10^5$ Па.

Аллювиальные плиоценовые отложения залегают под покровом четвертичных отложений мощностью 30—80 м и только в предгорных областях распространены с поверхности. Осадки отлагались горными полноводными реками в условиях теплого влажного климата, близкого к субтропическому, в эпоху интенсивной вулканической деятельности.

Комплекс представлен переслаиванием уплотненных косослоистых галечников, гравийников, слабо сцементированных конгломератов, песков с линзами глин, пепловых туфов, туффитов и диатомитов (в основании разреза). Состав меняется по простиранию и разрезу. В предгорной части характерно переслаивание галечников и гравийников; в центральной части Приханкайской впадины наблюдается переслаивание песков, гравийников с галькой и глин. Некоторое уменьшение обломочного материала происходит и вверх по разрезу. Мощность отложений 100—130 м в депрессиях, где они выполняют переуглубленные долины, и 20—30 м в предгорьях. Мощность прослоев чаще 5—20 м. Доминируют галечники и гравийники с включением валунов до 10—15%. Галька хорошо окатана, у гравия совершенная окатанность. Гранулометрический состав разнообразен, но в целом преобладает (40—60%); галька диаметром 20—60 мм, содержание гравия чаще колеблется от 30 до 45%. Средний гранулометрический состав на западном побережье оз. Ханка (60 определений) следующий: фракция 100—60 мм составляет 15%; фракция 60—40 мм — 10; 40—10 мм — 17; 10—2 мм — 29; 2—0,25 мм — 13; 0,25—0,005 мм — 4%; фракции менее 0,005 мм содержится 7%. В составе обломочного материала преобладают кварциты (25—50%) и кварцевые порфиры (40—55%); в районе Комиссарово — граниты (40%), в долине р. Раздольной — эффузивы. Выветрелость гальки и гравия высокая. Поверхность гальки шероховатая. Износ в барабане Деваля гальки 25—30%, гравия до 40%, из чего следует, что гравий не морозостоек. Заполнитель красноцветный, в среднем 20—40%. Гранулометрический состав заполнителя неоднородный, в поверхностной толще до глубины 20—50 м доминируют тяжелые песчаные супеси, суглинки, иногда глины с содержанием глинистой фракции от 10 до 40%; фракции менее 0,001 мм содержится 5—10%; глубже 50 м преобладают супеси с количеством глинистой фракции 10%. Увеличение глинистости заполнителя явилось, вероятно, следствием значительной выветрелости его полевошпатовой части.

Пески кварц-полевошпатовые, красноцветные, нередко туфогенные, гравелистые, крупные, реже средней крупности. Для всех песков характерны включения гравия от 10 до 25%, высокое содержание (по 30%) фракций 2—1 мм и 1—0,5 мм. Только в долине р. Раздольной встречаются однородные пески, у которых фракция 1—0,5 мм составляет 60%. Пески средней крупности имеют подчиненное значение в виде прослоев в толще гравелистых и крупных песков, но и они не обладают однородностью, фракция 0,5—0,25 мм составляет только 30%. Пески отличаются повышенным содержанием (8—10%), иногда до 25% глинистой фракции в зоне активного выветривания (до глубины 10—15 м), т. е. пески в процессе гипергенеза превращены в тяжелые супеси, иногда даже суглинки. Глубже 10—15 м количество глинистой фракции не превышает 5—7%, а глубже 30 м — всего 1—3%. Все пески сильно уплотнены, плотность 2,6—2,65 г/см^3; естественная влажность их выше уровня грунтовых вод, колеблется от 14 до 25%; угол естественного откоса в сухом состоянии 36—44°, под водой — 33—35°. Таким образом, плиоценовые аллювиальные отложения подверглись, с одной стороны, процессам эпигенеза (гравитационному давлению), что привело к сильному уплотнению осадков, с другой стороны, процессам гипергенеза, что значительно изменило их вещественный состав в зоне активного выветривания.

Озерные нижнеплейстоценовые, реже плиоценовые отложения слагают с поверхности останцы древних террас (абсолютные высоты 30—130 м, относительные — 20—60 м), примыкающих к предгорьям и одиночным холмам. Они представлены глинами, формирование которых происходило в условиях пресноводных олиготрофных довольно глубоких озер, в эпоху слабых эпейрогенических движений, в окислительной или слабо восстановительной среде.

Толща глин характеризуется значительной однородностью состава. Сумма глинистой и пылеватой фракции до 95%, из них свыше 60%

Таблица 62

Изменение с глубиной физических свойств плиоцен-нижнеплейстоценовых озерных глин
(средние значения)

Геологический возраст	Глубина, м	Объемная масса, г/см^3	Объемная масса скелета, г/см^3	Пористость, %	Коэффициент пористости	Естественная влажность, %	Число определений
Плиоцен	До 1	1,72	1,37	52	1,09	34	18
	1—2	1,8	1,41	47	0,89	28	18
	2—5	1,88	1,49	44	0,79	24	8
	Ниже 5	2,02	1,69	36,5	0,59	18	10
Ранний плейстоцен	До 1	1,75	1,35	51	1,04	30	20
	1—2	1,91	1,52	44	0,79	27	12
	2—4	1,96	1,59	42	0,73	25	14
	4—6	1,97	1,63	39,5	0,66	23	12
	Ниже 4—6	2	1,65	39	0,64	20	45
Средний плейстоцен	До 1—2	1,77	1,46	47	0,88	32	15
	До 4—7	1,91	1,53	44	0,79	27	15
	Ниже 2—7	1,96	1,57	42,2	0,73	25	20

приходится на фракцию менее 0,05 мм (200 определений), более 40% — на фракцию менее 0,001 мм. Таким образом, доминируют тяжелые глины, и только вблизи подошвы встречаются включения гравия, гальки или щебня до 10—30%. В нижней части слоя наблюдаются редкие линзы тонкого песка мощностью до 4—10 м. Общая мощность глин 10—80 м, чаще 40—60 м. Глины очень плотные полутвердые, в зоне активного выветривания до глубины 4—7 м иногда тугопластичные, с многочисленными включениями ожелезненных и марганцовистых конкреций. Текстура глин горизонтально-слоистая, структура сланцеватая. В минералогическом составе глинистой фракции преобладает монтмориллонит с примесью гидрослюды и бейделлита. Формирование минералов монтмориллонитовой группы объясняется существованием в эту эпоху лесостепных ландшафтов с широколиственными породами деревьев при теплом, относительно засушливом климате. Высокая дисперсность глин и монтмориллонитовый состав отражаются на пластичности. Число пластичности колеблется от 21 до 41, в среднем 35; предел текучести — от 46 до 71, в среднем 58%; предел раскатывания — от 20 до 43, в среднем 23%; плотность чаще 2,73 г/см^3. Физические свойства глин указывают на значительную степень уплотнения, литификации и дегидратации (табл. 62). Показатель уплотнения 0,9—1; показатель дегидратированности 2—2,9. Естественная влажность немного превышает максимальную влагоемкость (75 определений). Состояние глин полутвердое (показатель консистенции 0—0,1). Значительное уплотнение, литификация глин привели к усилению структурных связей, увеличению прочности глин невыветрелой зоны. По коэффициенту сжимаемости глины относятся к среднесжимаемым. Ниже приведены средние значения механических свойств.

	Плиоцен	Ранний плейстоцен	
		нижние горизонты	верхние горизонты
Коэффициент сжимаемости, 10^{-5} Па$^{-1}$ . . .	0,016	0,02	0,022
Модуль деформации, 10^5 Па	130	78	65
Начальное сопротивление сжатию, 10^5 Па .	2,5	1,0	0,75
Сцепление, 10^5 Па	1,5	0,82	0,56
Сдвигающее усилие, 10^5 Па:			
при нагрузке 30 Н/см^2	2,1	1,8	1,6
Число определений	15	30	40

Углы внутреннего трения колеблются от 16 до 26, в средием 19—20° (коэффициент внутреннего трения 0,35—0,38). Основным процессом литификации глин данного комплекса явилось гравитационное уплотнение, которое достигало 40—80 Н/см^2.

В зоне активного выветривания до глубины 4—7 м происходит увеличение пористости и естественной влажности на 10—20% (см. табл. 62), что приводит к уменьшению механической прочности. Начальное сопротивление сжатию уменьшается до $0{,}75 \cdot 10^5$ — $0{,}25 \cdot 10^5$ Па, увеличивается коэффициент сжимаемости, резко уменьшается сцепление и сдвигающее усилие.

Элювиально-делювиальные отложения четвертичного возраста развиты на ограниченных участках и представлены глинами и суглинками нередко с включениями щебня. Содержание глинистой фракции составляет 25—30% при незначительном количестве (до 10%) фракции менее 0,001 мм. Пористость их 44—49% (коэффициент пористости 0,79—0,94); естественная влажность 24—28%. Консистенция полутвердая и тугопластичная. Невысокую степень уплотнения элюво-делювия отражают механические свойства: начальное сопротивление сжатию не превышает $0{,}25 \cdot 10^5$ Па; сцепление $0{,}14 \cdot 10^5$ — $0{,}25 \cdot 10^5$ Па.

Озерные и аллювиально-озерные средне-верхнеплейстоценовые и голоценовые отложения широко распространены на восточном и южном побережьях оз. Ханка. Они слагают поверхность низких террас с абсолютными высотами 70—85 м и относительными от 0,5 до 12 м. В прибрежной части восточного и южного побережий оз. Ханка породы перекрыты слоем голоценовых озерно-болотных отложений. В долинах рек отложения этого комплекса размыты или залегают под аллювием мощностью 20—50 м. Общая мощность 10—15 м, в центральной части Приханкайской впадины достигает 60 м. Формирование осадков происходило в условиях пресноводных политрофных озер, в восстановительной среде, в эпоху слабых эпейрогенических движений. Глубины озер и их размеры постепенно уменьшались от среднеплейстоценовой эпохи к голоценовой. Менялся и климат от умеренного в среднеплейстоценовое время до умеренно холодного с развитием лесотундровых ассоциаций в позднеплейстоценовую эпоху; в голоцене вновь наступило потепление, климат стал умеренно теплым с развитием лесостепной растительности.

В составе комплекса преобладают глины с прослоями и линзами суглинков. В долине притока Уссури, где распространены озерно-аллювиальные отложения, разрез представлен тонким переслаиванием и взаимозамещением глин, суглинков, супесей. В основании встречаются линзы и прослои водоносного пылеватого тонкого песка мощностью 1—4 м. Глины влажные и сильновлажные, пластичные, иногда скрытотекучие, горизонтально-слоистые. В голоценовых глинах встречаются включения зерен вивианита. В минералогическом составе глинистой фракции преобладают гидрослюды с примесью бейделлита и монтмориллонита, содержание которого увеличивается в голоцене. Преобладание гидрослюд связано с распространением гранитоидов на водосборных площадях, с умеренным и умеренно холодным климатом в период седиментации глин и с развитием таежных и лесотундровых ландшафтов. Гранулометрический состав характеризуется значительной пылеватостью. Среднее содержание пылеватой фракции колеблется от 48 (средний плейстоцен) до 62% (голоцен); изменяется и количество фракции менее 0,005 мм соответственно от 38 до 32%, фракции менее 0,001 мм — от 15 до 10%. Песчаная фракция обычно не превышает 8%. Таким образом, наблюдается постепенное уменьшение глинистости и увеличение пылеватости от среднеплейстоценовых глин к голоценовым, что объясняется общим поднятием Сихотэ-Алиня, увеличением скорости эрозии на водосборных площадях, уменьшением размеров озер и их обме-

Таблица 63

Изменение с глубиной физических свойств озерных глин средне-позднеплейстоценового и голоценового возраста

(средние значения)

Геологический возраст	Глубина, м	Объемная масса, г/см³	Объемная масса скелета, г/см³	Пористость, %	Коэффициент пористости	Естественная влажность, %	Число определений
Средний плейстоцен	до 2—3	1,84	1,42	48,5	0,94	31	25
	ниже 2—3	1,9	1,49	45,4	0,83	32	25
Поздний плейстоцен	на всю мощность	1,85	1,42	48	0,92	35	30
Голоцен	на всю мощность	1,8	1,28	50	1	45	26

лением. Постепенное уменьшение дисперсности глин к голоценовой эпохе, преимущественный гидрослюдистый состав подтверждают их пластичность. Число пластичности в среднем для глин среднего плейстоцена 24, позднего плейстоцена — 22, голоцена — 20; предел текучести соответственно 48%, 46 и 42%; предел раскатывания 24% у среднепозднеплейстоценовых глин и 22% у голоценовых глин; плотность колеблется от 2,6 до 2,77, чаще 2,7—2,74 г/см^3. Физические свойства глин указывают на их невысокую степень уплотнения и дегидратации (табл. 63). Показатель уплотнения у глин среднего плейстоцена (0,7), позднего плейстоцена — 0,6, голоцена — 0,5; показатель дегидратированности соответственно 1,55; 1,31; 1. Естественная влажность расположена между пределами пластичности, а у голоценовых глин немного превышает предел текучести. Консистенция среднеплейстоценовых глин тугопластичная (показатель консистенции 0,5), голоценовых—мягкопластичная и скрытотекучая (показатель консистенции 0,75).

Механические свойства молодых озерных глин отражают их слабую степень уплотнения и дегидратации. Начальное сопротивление сжатию отсутствует, только у среднеплейстоценовых глин оно не превышает $0{,}25 \cdot 10^5$ Па. Глины относятся к среднесжимаемым.

	Среднеплейстоценовые глины	Позднеплейстоценовые глины	Голоценовые глины
Коэффициент сжимаемости, 10^{-5} Па$^{-1}$	0,032	0,052	0,054
Модуль деформации, 10^5 Па	54,5	46,9	44,4
Сдвигающее усилие, 10^5 Па:			
при нагрузке 30 Н/см^2	1,5	1,2	1
Сцепление, 10^5 Па	0,34	0,3	0,24
Число определений	30	25	25

Пластичные сильно гидратированные глины обладают низкими значениями углов внутреннего трения (от 11 до 17°). Только у тугопластичных среднеплейстоценовых глин с наиболее высоким содержанием песчаной фракции они возрастают до 18—29°, в среднем 20° (40 определений). Таким образом, комплекс глин подвергся эпигенезу в слабой степени, в основном действию невысокого гравитационного давления (до 18—25 Н/см^2). Из-за сильной заболоченности террас они слабо затронуты процессами усадки.

Зона выветривания у озерных глин среднего плейстоцена-голоцена практически не выражена, за исключением среднеплейстоценовых глин, у которых она не превышает 2—3 м.

Аллювиальные средне-верхнеплейстоценовые и голоценовые отложения распространены в днищах долин рек, где они слагают низкую и высокую поймы, I и II надпойменные террасы. Аллювиальные отложения чаще характеризуются двучленным строением, косослоистой структурой. На поймах преобладают мелкие пылеватые пески, перекрытые слоем 1—3,5 м взаимозамещающихся супесей, суглинков и глин. I терраса в низах разреза сложена галечниками, в средней и верхней частях — крупными песками с включением гравия, с прослоями песков средней крупности. Отложения II террасы представлены гравелистыми песками с прослоями галечников. Только в долине р. Комиссаровки широко развиты галечники. Для долины р. Уссури характерно взаимозамещение песков, галечников, иногда супесей и суглинков. В целом заметно уменьшение обломочного материала вверх по разрезу и к устьевой части рек. Общая мощность аллювия 50—80 м. В долинах рек Комиссаровки, Раздольной, Уссури и Бикин распрост-

ранены галечники. Петрографический состав их самый разнообразный; галька и гравий средне- и хорошо окатанные. В голоценовых и верхнеплейстоценовых отложениях встречается только крепкая свежая галька; в среднеплейстоценовых она заметно выветрелая. Для гранулометрического состава галечников характерно содержание валунов 1—7%, гальки 32—76%, гравия 12—33%, песка 15—30%, пыли до 2% и глины 1%. В составе заполнителя преобладает крупный и средний песок. По данным откачек, коэффициенты фильтрации составляют 30 м/с.

Пески кварц-полевошпатовые. Гранулометрический состав в долинах рек Илистой, Спассовки и Мельгуновки четко изменяется с возрастом. Среди голоценовых песков преобладают тонкие и пылеватые разности: сумма фракций 0,25—0,05 и 0,05—0,005 мм составляет в среднем 67%. В составе верхнеплейстоценовых осадков доминируют крупные пески со средним содержанием фракций 2—1 мм 35%, фракции 1—0,5 мм — 22%. Включений гравия от 4 до 30, в среднем 11%. Среднеплейстоценовые пески обычно гравелистые. В долине рек Раздольной и Уссури среди голоценовых песков распространены пески средней крупности с содержанием фракции 0,5—0,25 мм от 55 до 80%. В долинах рек Бикин и Бол. Уссурки пески нередко гравелистые с содержанием фракции более 2 мм до 20—30%.

Плотность песков колеблется в широких пределах (от 2,65 до 2,77 г/см^3). Пористость песков с глубиной уменьшается. На глубине 4—8 м в долине р. Бикин объемная масса в среднем 1,74 кг/см^3. Угол внутреннего трения колеблется от 27°25′ до 32°55′ (коэффициент внутреннего трения 0,525—0,647). Коэффициенты фильтрации крупных и средних песков, по данным опытных откачек, 3—6 м/сут, мелких песков — 0,5—1,5 м/сут.

Физические свойства аллювиальных песков приведены ниже.

	Голоценовые пески	Верхнеплейстоценовые пески
Объемная масса, г/см^3:		
при уплотнении	1,42	1,55
в рыхлом состоянии	1,34	1,3
Пористость, %:		
при уплотнении	46	42
в рыхлом состоянии	52	50
Коэффициент пористости:		
при уплотнении	0,83	0,69
в рыхлом состоянии	1,09	0,99
Число определений	30	60

Супеси обычно встречаются с поверхности. Для гранулометрического состава типично содержание фракций: 0,25—0,05 мм 20—50%, в среднем 40%; 0,05—0,005 мм от 20 до 54%, в среднем 25%; менее 0,005 мм 8—10%. Количество фракций крупнее 0,25 мм колеблется в широких пределах (от 2 до 40, в среднем 25%) (40 определений). Плотность 2,62—2,65 г/см^3. Объемная масса при максимальном уплотнении 1,4—1,5 г/см^3, при минимальном — 1,1—1,15 г/см^3; пористость соответственно 44—47 и 56—60%; коэффициент фильтрации чаще 0,5 м/сут (50 определений). Суглинки и глины покрывают поймы рек. В минералогическом составе глинистой фракции преобладают гидрослюды и монтмориллонит. Изменение гранулометрического состава происходит с определенной закономерностью: вблизи русел встречаются легкие суглинки с содержанием фракции менее 0,01 мм не более 5%, песка, нередко крупного, до 30—37%; с удалением от русел увеличивается глинистость и содержание фракции менее 0,001 мм возрастает

до 10—15%. Часто встречаются суглинки и глины с примесью песчаной фракции более 10%. Плотность колеблется в очень широких пределах (от 2,53 до 2,77, в среднем 2,65 г/см^3; объемная масса 1,21—1,83 г/см^3; объемная масса скелета 1,74—2,28 г/см^3; пористость 35—48, в среднем 40%; естественная влажность 24—44%; предел текучести 38—58, в среднем 42%; предел раскатывания 15—33, в среднем 24%; число пластичности 10—37, в среднем 17. Максимальные значения пористости и влажности типичны для старичной фации. Специфика формирования аллювиальных глинистых осадков заключается в том, что они быстро осушаются и подвергаются процессам усадки, во время которой необратимо свертываются коллоиды и происходит снижение электростатических связей между частицами. Это приводит к уменьшению сцепления и водопрочности. Скорость размокания аллювиальных глин 10—30 мин. Начальное сопротивление сжатию отсутствует. По коэффициенту сжимаемости глины и суглинки относятся к среднесжимаемым (коэффициент сжимаемости $0{,}04 \cdot 10^{-5}$—$0{,}05 \cdot 10^{-5}$ Па$^{-1}$). Сцепление $0{,}16 \cdot 10^5$—$0{,}25 \cdot 10^5$ Па, реже до $0{,}7 \cdot 10^5$ Па. Углы внутреннего трения чаще 21—27°, у отдельных образцов не превышают 16° (коэффициент внутреннего трения 0,16—0,49).

Лагунно-морские верхнеплейстоценовые и голоценовые отложения встречаются в устье р. Раздольной. Мощность их в прибортовой части долины 5—9 м, в центральной части до 30—35 м и более.

Формирование лагунно-морских отложений происходило в условиях неглубокой соленой лагуны в умеренно теплом влажном климате. Разрез отличается выдержанностью по простиранию. В составе комплекса до глубины 20—30 м преобладают илы; только в поверхностной 2—6-метровой толще и у подошвы встречаются прослои иловатых песков мощностью от 4 до 9 м. Илы содержат включения хорошо или плохо сохранившихся морских раковин, количество которых колеблется от долей процента до 50%, а иногда встречаются прослои ракушечника (до 80% раковин) с илистым заполнителем. Гранулометрический состав илов по единичным определениям следующий: фракции 0,25—0,1 мм содержится 2—19%; 0,1—0,05 мм — 12—18; 0,05—0,01 мм — 22—31; 0,01—0,005 мм — 7—17; фракции менее 0,005 мм содержится 28—38%. Плотность 2,72—2,79 г/см^3; объемная масса колеблется от 1,47 до 1,75, преобладает 1,53 г/см^3; объемная масса скелета от 0,85 до 1,15, чаще 0,93 г/см^3; пористость 56—70, чаще 65%; коэффициент пористости 1,27—2,3; естественная влажность высокая (от 43 до 94, обычно 70%); предел текучести колеблется от 32 до 63, среднее 51%; предел раскатывания от 18 до 35, преобладает 24%; число пластичности от 18 до 35, среднее 27 (40 определений). Консистенция илов текучая. Слабая уплотненность илов, высокая гидрофильность указывают на то, что они еще находятся на стадии раннего диагенеза, поэтому структурные связи у них слабые и механическая прочность низкая. Сцепление $0{,}074 \cdot 10^5$—$0{,}136 \cdot 10^5$ Па. Угол внутреннего трения от 6 до 16° (коэффициент внутреннего трения 0,29). Илы сильносжимаемые, при нагрузке 5 Н/см^2 коэффициент сжимаемости $0{,}2 \cdot 10^{-5}$—$0{,}1 \cdot 10^{-5}$; при нагрузке 10 Н/см^2 — $0{,}25 \cdot 10^{-5}$—$0{,}5 \cdot 10^{-5}$ и при 20 Н/см^2—$0{,}02 \cdot 10^{-5}$—$0{,}04 \cdot 10^{-5}$ Па$^{-1}$.

Супеси преимущественно пылеватые, иловатые, водонасыщенные, рыхлые, непластичные. Гранулометрический состав лагунно-морских супесей (15 определений) следующий: фракции более 0,5 мм содержится от 0 до 40%; 0,5—0,25 мм — 2—40, в среднем 16%; 0,25—0,1 мм — 21—59, в среднем 44%; 0,1—0,05 мм — 6—30, в среднем 18%; 0,05—0,001 мм — 6—16, в среднем 10%; 0,01—0,005 мм — 2—8, в среднем 4%; фракции менее 0,005 мм содержится 5—13, в среднем 8 %.

Озерно-болотные голоценовые отложения слагают с поверхности низменные болотистые террасы восточного и южного побережий оз. Ханка с абсолютными высотами до 70 м и относительными до 0,5 м. Мощность отложений колеблется от 0,5 до 4 м, чаще 1—2 м. Формирование происходило за счет зарастания пресных мелких озер. Торф гипново-осоковый, местами тростниковый низинный, от бурого до черного, жидкий, водонасыщенный, плохо- и среднеразложившийся. Степень разложения изменяется от 3—5% у поверхности до 25—35% в нижней части слоя. Естественная влажность 70—120%, зольность 30—50%.

Гидрогеологические условия

Регион представляет собой межгорный артезианский бассейн наложенной кайнозойской впадины, в строении чехла которого можно выделить два этажа. Верхний плиоцен-четвертичный этаж содержит грунтовые и слабонапорные воды пластово-порового типа. К нижнему палеоген-миоценовому этажу приурочены артезианские пластово-поровые и пластово-трещинно-поровые воды. Фундаментом служат дислоцированные протерозойско-меловые породы, чаще всего безводные.

Грунтовые воды заключены преимущественно в отложениях аллювиальных фаций четвертичного и плиоценового возраста, представленных песками и галечниками. Они образуют горизонт мощностью от 10 до 120 м, глубина залегания которого 0,1—1 м на поймах, на надпойменных террасах — от 1—3 м у русла до 10 м у тылового шва, на высокой плиоценовой террасе — от 3 до 45 м. Уровень вод в пределах аллювиальных террас, как правило, свободный; под озерными и озерно-аллювиальными глинами воды приобретают напор до 15 м. Годовые амплитуды колебания уровня близ русла 2—3 м, в 1,5 км от реки — до 1,5 м, в 8 км от реки — 0,5—1 м. Как правило, колебания уровня аллювиальных вод повторяют колебания уровня воды в реке с запозданием на 10—20 сут.

Водопроницаемость отложений высокая, хотя резко меняется на близких расстояниях. Характерны коэффициенты фильтрации от 0,5 до 130 м/сут. Дебиты скважин от 0,3 до 12 л/с. Воды пресные с минерализацией от 60 до 300 мг/л, гидрокарбонатные кальциево-магниевые, жесткостью 0,3—3 мг·экв/л. Обладают углекислотной агрессивностью. Иногда при минерализации менее 150 мг/л проявляют также выщелачивающую агрессию преимущественно к напорным сооружениям. Часто в грунтовых водах присутствует закисное железо до 10 мг/л и более. В населенных пунктах воды загрязнены, содержат органические вещества, аммиак, нитриты.

В озерных и озерно-аллювиальных плиоцен-четвертичных отложениях, имеющих существенно глинистый состав, подземные воды заключены в прослоях песков и супесей и носят слабонапорный характер. Напор от 1 до 10 м, редко увеличивается, известны случаи самоизлива. Залегание водоносных пластов отмечается обычно на глубинах свыше 10 м. Водообильность отложений невысокая, коэффициенты фильтрации 0,1—1 м/сут; дебиты скважин 0,01—0,5 л/с. Воды гидрокарбонатные, смешанные по катионам, с минерализацией от 150 до 400 мг/л; агрессивными свойствами, как правило, не обладают.

В зоне аэрации глинистых грунтов периодически после дождей и при оттаивании сезонной мерзлоты на глубине 0,5—1,5 м формируется верховодка. Торфяники содержат болотную воду, которая во время дождей выходит на поверхность, образуя слой в несколько десят-

ков сантиметров. В засушливое время уровень верховодки падает. Зимой она исчезает, торфяники полностью промерзают. Воды торфяников и зоны аэрации пресные, обладают углекислотной и выщелачивающей агрессивностью.

Артезианские воды палеоген-миоценовых отложений бассейна заключены в прослоях песков, песчаников и конгломератов мощностью от долей метра до 20 м. Они разделены водоупорными глинами и аргиллитами на ряд гидравлически связанных между собой горизонтов. Напор вод в краевых частях бассейна 5—35 м, к центру он возрастает до 170—200 м. Пьезометрические уровни обычно устанавливаются близко от поверхности земли. Часто воды изливаются из скважин. При понижениях 5—20 м дебиты скважин 0,02—12 л/с; при самоизливе они достигают 3—5 л/с. Напорные воды, наряду с грунтовыми и атмосферными, заболачивают территорию. Воды пресные с минерализацией до 500 мг/л, гидрокарбонатные кальциевые или магниевые, жесткостью до 3 мг·экв/л, как правило, не агрессивные.

Современные геологические процессы и явления

Муссонный климат, отсутствие на значительной части территории растительности способствуют широкому развитию процессов овражкообразования, которые особенно интенсивны в районе развития древних высоких террас, сложенных песчано-галечниковыми отложениями плиоцена и нижнеплейстоценовыми глинами. Наиболее сильно расчленены оврагами склоны плиоценовой аллювиальной террасы. Здесь овраги встречаются через 0,2—0,5 км, глубина их достигает 5—10 м. На нижнеплейстоценовых террасах менее глубокие овраги развиваются на распаханных склонах вдоль дорог. Частые летние паводки, отсутствие лесной растительности способствуют развитию процессов речной эрозии, охватывающей 40—50% русловых берегов.

Приуроченность региона к лесостепной зоне определяет и преобладание преимущественно низинных осоково-тростниковых гипново-осоковых болот. Особенно большие площади их распространены на южном и западном побережьях оз. Ханка, в устье р. Раздольной, где происходит зарастание мелководных участков. На западном побережье оз. Ханка между селами Камень-Рыболов и Троицкое наблюдаются оползни. Благоприятными условиями для их развития являются: интенсивный подмыв берегов озера, уничтоженные леса, перегрузка склонов в верхней части. Оползни консеквентные мелкие.

ВОСТОЧНО-СИХОТЭ-АЛИНСКИЙ РЕГИОН

Регион протягивается вдоль побережья Японского моря и Татарского пролива на расстоянии более 1500 км от широты бухты Киевка до Сахалинского залива Охотского моря при средней ширине 100—150 км. В тектоническом отношении он совпадает с Восточно-Сихотэ-Алинским вулканогеном, представляющим собой одно из звеньев Восточно-Азиатского вулканогенного пояса.

Рельеф региона горный. Интенсивная вулканическая деятельность, продолжавшаяся длительное время, привела к созданию обширных площадей вулканического рельефа. Характерными элементами последнего являются крупные вулкано-тектонические депрессии, в которых сложно сочетаются обширные куполовидные (сголообразные) массивы,

пикообразные купола (центральные пекки) и конусы (стратовулканы) с лавово-туфовыми покровами моноклинального залегания, а также структурные плато, сформированные базальтоидами неогена и палеогена. Внедрение многочисленных гранитоидных интрузий привело к созданию главнейших горных хребтов и массивов.

Близость базиса эрозии и интенсивный плоскостной и эрозионный смыв, обусловленный климатическими особенностями, способствовали интенсивному расчленению территории. Большая ее часть занята средневысотными горами и низкогорьем, которые неоднократно перекрываются обширными базальтовыми плато, расположенными на различных гипсометрических уровнях.

Среднегорье сильно расчленено, представлено сложно разветвленной системой хребтов небольшой длины (10—15 км, реже до 150 км) с густой, глубокой сетью долин незначительной протяженности. Абсолютные высоты 900—1200 м, относительные — 500—700 м. Долины U- и V-образной формы, местами каньонообразные, днища заняты сухой каменистой поймой. Водоразделы резкие, с острыми гребнями, скалистыми выступами и пиками высотой 30—100 м. Низкогорье сильно расчлененное и массивное (столообразные слабо расчлененные водоразделы) с абсолютными отметками 500—1000 м и относительными превышениями от 60 до 500 м. Водоразделы резкие с острыми гребнями либо массивные, выравненные, почти плоские. Структурные базальтовые плато с волнистым и плоскоувалистым рельефом, расчлененные глубоко врезанными (до 100—600 м), часто каньонообразными долинами. Абсолютные отметки до 1400 м. Поверхности плато по периферии обрамлены уступами, наклоненными под углом 15—45°, высотой 50—150 м, на которых местами широко развиты оползневые процессы. В прибрежной полосе горы снижаются, сменяются холмами и увалами, местами переходящими в прибрежные заболоченные низменности. Береговая линия извилистая, с чередующимися скалистыми мысами и глубоко врезающимися в сушу бухтами с низинным рельефом. Высота абразионных уступов 20—100, реже до 200—300 м. Участкам побережья, сложенным неогеновыми базальтоидами, свойствен риасовый тип берегов. Ширина пляжа в низинных участках 20—200 м, у высоких берегов — 5—10, реже до 50 м. Большинство рек горного типа, порожистые с быстрым течением, в среднегорье и верхнем течении нередко встречаются водопады высотой 12—15 м. Для низовий характерно разветвление русла на четыре — шесть рукавов, в результате подпруживания их береговым валом или косами. На режим рек оказывают влияние приливно-отливные явления морей. Морские воды поднимаются вверх по течению на 1,5—3 км, реже до 14 км. Озера в регионе малочисленны. Наиболее крупные среди них сточные озера тектонического, водно-эрозионного и лагунного генезиса.

Регион располагается в муссонной тихоокеанской климатической области умеренного пояса. Для северной его части характерно умеренное количество осадков (420—640 мм в год), южнее вулканические хребты образуют барьер на пути движения влажных масс морского воздуха летнего муссона (годовое количество осадков в среднем 700—800 мм). В наиболее сильные ливни выпадает за сутки до 100 мм осадков. В условиях интенсивно расчлененного рельефа такие ливни вызывают катастрофические наводнения, производящие огромную разрушительную работу и вызывающие плоскостной смыв и эрозию, переувлажнение и заболачивание выположенных участков рельефа.

Среднегодовая температура воздуха на севере минус 1—3,9°, на юге +3,5°. Минимальная температура на севере —44°, на юге —36°.

Среднемесячная температура июля соответственно +4 и +12—14°. Смягчающее воздействие на климат прилегающих с востока морей выражается наиболее отчетливо в прибрежной полосе (40, реже до 60 км). Здесь амплитуда колебаний температуры на 8—10° меньше, чем в более западных районах, а количество осадков на 30—50 мм больше. Высота снежного покрова колеблется от 20 до 80 см на побережье и от 90 до 150 см в горах и долинах: с незащищенных участков побережья снег сдувается ветрами. При малой мощности снежного покрова почвогрунты местами промерзают на значительную глубину (до 2,5—4 м). Многолетняя (2—3-летняя) мерзлота мощностью 1,6—3,2 м и сохраняется на небольших участках протяженностью 100—200 м, с глубины 0,7 –2,5 м. Лесами, мелколесьем и кустарником покрыто более 80% территории, до абсолютных высот 600—700 м. На юге преобладают хвойно-широколиственные леса, на севере светлохвойная (лиственничная) тайга. На высоте 700 м лесная растительность исчезает, склоны и вершины покрыты кедровым и березовым стлаником, иногда уступающим место лишайникам.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Восточно-Сихотэ-Алинский вулканоген представляет собой наложенную линейно-вытянутую структуру на границе областей мезозойской и кайнозойской складчатости, связанную с глубинным краевым разломом (швом) северо-восточного простирания, который является частью общей системы глубинных разломов, обрамляющих с востока Азиатский континент.

Вулканоген характеризуется складчато-глыбовым гетерогенным строением, в какой-то мере предопределенным поперечной неоднородностью мезозойского основания (Беляевский и др., 1958). Определяющим в облике региона является моноклинальное и платообразное залегание вулканогенных покровов, осложненных многочисленными отрицательными и положительными вулканическими структурами более низкого порядка и разломами и прерываемых крупными куполовидными поднятиями (интрузивными массивами). В строении вулканогена принимают участие наземные вулканические формации орогенного класса при незначительной роли осадочных и вулканогенно-осадочных пород (рис. 53). Началом формирования вулканогена следует считать середину позднего мела, т. е. время окончания формирования складчатого фундамента[1]. Интенсивная вулканическая деятельность, начавшаяся в сеноман-туроне, когда еще существовали морские бассейны, привела к накоплению мощных толщ вулканических (преимущественно пирокластических) пород, в которых наряду с вулканитами присутствуют грубообломочные плохо сортированные вулканомиктовые и терригенные образования (вулканогенно-терригенная молассовая формация). В начале сенона эксплозии сменились наземными излияниями лав андезитового состава (андезитовая формация). В сенон-датское время на фоне общего воздымания Сихотэ-Алиня вулканическая деятельность в пределах региона достигала своего апогея. В результате погружения отдельных блоков фундамента возникали и формировались крупные вулкано-тектонические структуры (депрессии). Наиболее широко проявились трещинные эксплозии кислой липаритовой и липарит-дацитовой

[1] Отложения геосинклинального типа, слагающие структуры основания вулканогенного пояса, рассматриваются в соседних регионах

магм, в результате чего сформировались мощные и относительно выдержанные толщи игнимбритов и сваренных туфов (липаритовая формация). В отдельных вулканоструктурах происходила близко одновременная деятельность вулканов кислого и основного состава. В итоге возникали толщи смешанного состава, состоящие из основных и кислых вулканитов, чередующихся в разрезе и фациально замещающих друг друга (андезит-липаритовая формация). К началу палеогена интенсивность вулканической деятельности заметно уменьшилась, она отмечается лишь на юге пояса (долина р. Зеркальной) и представлена кислыми вулканитами (вулканогенно-терригенная молассовая формация).

С вулканогенными формациями позднего мела и палеогена парагенетически связаны многочисленные интрузии приповерхностных гранитоидов, представленные тремя близкими по составу сериями. Наиболее многочисленны сенон-датские интрузии, сформировавшиеся одновременно или почти одновременно с образованием огромных масс эффузивных толщ сенон-датского возраста. Интрузиям дат-палеоценового возраста свойствен субвулкани-

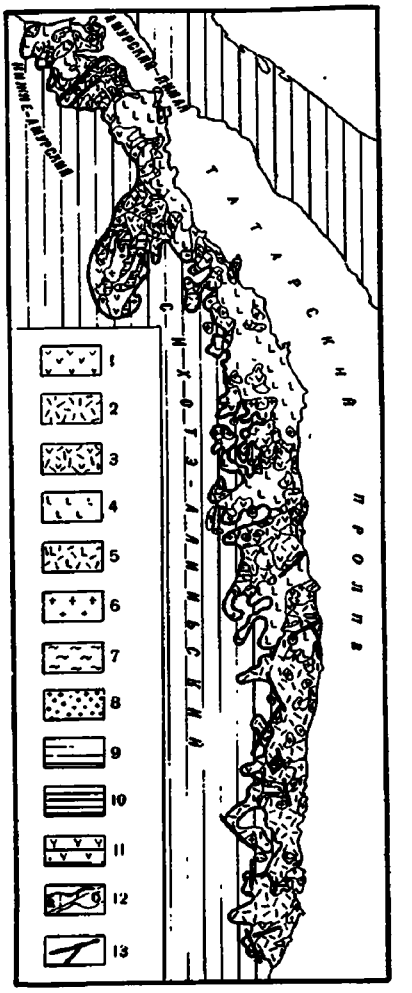


Рис. 53. Схема распространения основных инженерно-геологических формаций и геолого-генетических комплексов Восточно-Сихотэ-Алинского региона. Формации: 1 — андезитовая (K_2); 2 — липаритовая (K_2—P_1); 3 — андезит-липаритовая (K_2—P_1); 4 — базальтовая (P_2, N_1^{2-3}, N_2—Q_1); 5 — базальт-липаритовая (P_{2-3}); 6 — гранитоидная (K_2—P_2). Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений: средне-верхнеплейстоценовые и голоценовые: 7 — морские (mQ_{II-IV}); 8 — аллювиальные (aQ_{II-IV}); 9 — аллювиально-морские и лагунно-озерные (am, lmQ_{III-IV}). Породы фундамента: 10 — терригенные (K); 11 — вулканогенно-кремнисто-терригенные (C P; T_3; J_3); 12 — а) граница региона и сопредельные территории; б) границы формаций и геолого-генетических комплексов; 13 — разломы

ческий характер (тесное переплетение в пространстве интрузий и субвулканических и эффузивных образований).

В палеоген — неогене в связи с консолидацией структуры вулканогенного пояса на обширных площадях происходили излияния базальтовой и базальт-липаритовой магм (базальтовая, базальт-трахилипаритовая и платобазальтовая формации), сформировавших платообразные покровы, или щитовые вулканы, и шлаковые поясы. В межгорных впадинах в это время формировались грубообломочные и угленосные отложения (терригенная и угленосная молассовые формации). Синхронно происходило формирование субвулканических интрузий (гранит-сиенит-щелочно-гранитовая формация), возможно связанных с завершающими фазами дат-палеоценового цикла магматической деятельности. На поверхности базальтовых плато формировались коры выветривания. На

остальной территории вулканогена происходили преимущественное поднятие, размыв и расчленение ранее формировавшихся вулканических покровов. В четвертичное время формировался чехол покровных отложений, представленных образованиями склонового ряда и в меньшей степени аллювиального, морского, аллювиально-озерного и лагунно-морского генезиса.

Вулканогенно-терригенная молассовая формация объединяет вулканогенно-осадочные образования сеноман-туронского и дат-палеоценового возраста. В составе формации отмечаются туфы смешанного состава, туффиты, туфоалевролиты, вулканомиктовые песчаники и туфопесчаники, туфоконгломераты, алевролиты, аргиллиты и глинистые сланцы с прослоями кремнистых и известковистых брекчий. Формирование осадков в сеноман-туроне происходило в условиях мелководного морского бассейна и широкого развития архипелагов вулканических островов в период усиления вулканических процессов. Это привело к накоплению мощных толщ вулканогенно-осадочных пород, среди которых наряду с вулканитами широким развитием пользуются грубообломочные плохо сортированные терригенные и вулканомиктовые образования, тяготеющие к нижней части формации мощностью до 450 м. Формирование верхней дат-палеоценовой толщи происходило в континентальных условиях. В небольших межгорных впадинах накапливались туфогенно-осадочные и угленосные отложения мощностью до 250—300 м. Для толщи характерна большая фациальная изменчивость. По мере удаления от очагов извержения уменьшается размер пирокластического материала в туфах, а туфоагломераты замещаются толщей вулканомиктовых конгломератов, туффитов, пепловых туфов, алевролитов, аргиллитов, углистых сланцев и бурых углей мощностью до 200 м.

Породы вулканогенно-терригенной формации смяты в пологие линейные и брахиформные складки, при этом степень дислоцированности пород ослабевает снизу вверх по разрезу. Вулканиты сеноман-туронского возраста местами дислоцированы не менее нижележащих геосинклинальных толщ. В них наблюдаются вертикально стоящие пласты и сжатые складки с явлениями такого же будинажа, как и в отложениях раннего мезозоя и палеозоя. В дат-палеоценовых отложениях залегание отдельных слоев, особенно угленосных, ближе к горизонтальному. Породы в массиве интенсивно трещиноваты до глубины 30—50, реже 80—100 м. Трещины открытые до 0,3 мм, реже достигают ширины 3 см, иногда заполнены суглинистым либо щебнистым материалом, карбонатами, халцедоном и др. Густота трещин от 3 до 5 на 1 м. Преобладает глыбовая форма отдельности (для грубопирокластических разностей пород) и плитчатая (для туффитов, туфов, различных песчаников и др.). В приповерхностной зоне породы сильновыветрелые. Наиболее устойчивы к экзогенным процессам туфы и вулканомиктовые песчаники массивного сложения, туфобрекчии и туфоагломераты, в которых, несмотря на значительную пористость, прочность обусловлена явлениями спекания. Туффиты, алевролиты, углистые сланцы, слагающие незначительные по мощности прослои, как правило, тонко- и мелкоплитчатые, интенсивно-трещиноватые, слабые породы, часто размокаемые под действием атмосферных осадков, значительно ослабляющие прочностные свойства пород в массиве. По единичным анализам временное сопротивление сжатию туфов в сухом состоянии $880 \cdot 10^5$—$1070 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщеином—$500 \cdot 10^5$—$640 \cdot 10^5$ Па, после замораживания — $550 \cdot 10^5$ Па.

Андезитовая формация турон-датского возраста объединяет вулканиты среднего состава, сформированные на разных

стадиях развития тектоно-вулканических структур. В составе формации выделяются две толщи: нижняя (турон-сенонская) и верхняя (сенондатская). В составе нижней толщи, слагающей крупные щитовые вулканы и покровы значительной мощности (до 1100 м), принимают участие андезиты, андезито-базальты, дациты, порфириты и их туфы. Для низов толщи характерно широкое развитие пирокластических образований, представленных агломератовыми туфами, туфобрекчиями пестрого петрографического состава, перемежающимися в разрезе с туфоконгломератами, туфопесчаниками, туфоалевролитами; нередки прослои осадочных пород. В верхней части толщи преобладают роговообманковые андезиты, заключающие прослои и пачки туфобрекчий, витрокластических алевропсаммитовых туфов (до 40 м) с линзами вулканического пепла (0,3—0,5 м), вязких пластичных глин (0,1—0,2 м). Вулканитам верхней толщи формации свойствен аэральный тип извержений, характеризующийся значительными эксплозиями. Начало эруптивной деятельности знаменуется взрывами и образованием игнимбритов андезито-дацитов и дацитов, которые затем сменились излияниями дацитов. В верхней части толщи преобладают покровы андезитов мощностью до 300—400, реже до 1700 м, переслаивающихся с туфоконгломератами, туфопесчаниками с линзами конглюмератов, песчаников и алевролитов. Породы формации смяты в пологие куполовидные складки с углами падения на крыльях 5—35°.

В зоне выветривания до глубины 30—50, реже 100 м вулканогенные образования трещиноваты. Степень трещиноватости пород различна. Наряду с интенсивно-трещиноватыми наблюдаются участки массивных монолитных пород, устойчивых к выветриванию. Трещиноватость заметно увеличивается в зонах тектонических нарушений, вблизи которых породы интенсивно изменены гидротермальными процессами, брекчированы и перемяты, легко размываются поверхностными водами. Андезитам, туфобрекчиям свойственна крупноглыбовая, толстоплитчатая, шаровая и подушечная, а туфам и туфогенно-осадочным породам плитчатая форма отдельности. Трещины открытые шириной от 0,1 до 1 см, иногда заполнены глинистым материалом, карбонатами, кварцем, халцедоном и др.

Массивные и слаботрещиноватые андезиты и дациты представляют собой крепкие и очень крепкие породы, обладающие высокой прочностью[1]. Временное сопротивление сжатию андезитов в сухом состоянии до $2000 \cdot 10^5$ Па. Водопоглощение 10—20%, коэффициент размягчения 0,7—0,9. Износ в барабане Деваля 5—7%. Все исследованные породы выдержали испытания на морозостойкость. Выветрелые и интенсивно-трещиноватые разности неустойчивы в массиве, часто образуют глыбовые и щебнистые россыпи. Временное сопротивление сжатию выветрелых андезитов и дацитов до $600 \cdot 10^5$ Па, выветрелых андезитовых порфиритов в сухом состоянии $61 \cdot 10^5$—$65 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — до $36 \cdot 10^5$ Па; водопоглощение 16,5%. Прочностные свойства пирокластических пород колеблются в широких пределах. Наибольшая прочность свойственна тем разностям, в которых отмечаются явления спекания (туфобрекчии и др.). Временное сопротивление сжатию андезитовых туфов и туффитов в сухом состоянии $880 \cdot 10^5$—$1070 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $500 \cdot 10^5$—$640 \cdot 10^5$ Па. В зоне выветривания пирокластические образования представляют собой слабо уплотненные, хрупкие, легко рассыпающиеся на глыбы и щебень породы.

---

[1] Физико-механические свойства пород здесь и далее приводятся по данным 2-го ГГУ.

Липаритовая (игнимбритовая) формация объединяет кислые вулканиты сенон-датского и палеогенового возраста, образующие цепь обширных вулканических полей, занимающих до двух третей площади вулканогена. В строении формации существенная роль принадлежит игнимбритам липаритового, трахилипаритового, реже дацитового состава, проявленным разнофациально. Это игнимбриты плато, игнимбриты потоков мощностью до 1100 м, игнимбриты экструзивных куполов и некковых «трубок взрыва».

Нижняя (сенон-датская) толща формации сложена игнимбритами, туфами и туфогенно-осадочными породами, находящимися в чрезвычайно сложных соотношениях, изменчивых по площади и в разрезе. Для низов характерны туфы, для верхов — игнимбриты. В большинстве вулканоструктур отмечается грубая концентрическая зональность в распределении фаций. Вблизи центров извержений вулканиты представлены агломератовыми туфами: размер обломков в среднем 0,3—1 м, реже до 5—6 м. При удалении от них отмечается постепенное уменьшение величины обломков, в распределении которых по размеру наблюдается четко выраженная ритмичная слоистость. Нижние части ритмов сложены грубообломочными туфами, верхние — тонкозернистыми пепловыми туфами и туффитами. Мощность ритмов от 3 до 20 м. Наиболее удаленные от вулканов фации представлены сваренными туфами и игнимбритами, среди которых отмечаются невыдержанные слои туффитов, туфопесчаников, туфоалевролитов и др. Среди игнимбритов нередки потоки лав. В южной части вулканогена преобладают липариты, в северной — дациты. Вулканиты нижней толщи претерпели значительный диагенез, о чем свидетельствуют сливной характер туфов, интенсивная перекристаллизация связующей массы, отсутствие в породах свежих витрокластических пирокластов и вулканических стекол, а также интенсивное развитие процессов пропилитизации.

Вулканиты верхней толщи (дат-палеоцен) представлены туфами, игнимбритами и связанными с ними экструзивными липаритами; нередко в составе толщи отмечаются крупные пластообразные тела гранитов (Ростовский, 1968). В основании покровов игнимбритов залегают разнообломочные туфы дацитов и липаритов (до 20—80 м), имеющие облик затвердевшего пепла. По простиранию они могут замещаться псефитовыми, агломератовыми и лапиллиевыми туфами, лахаровыми брекчиями и туфоагломератами. Выше по разрезу залегают мощные толщи игнимбритов и игнеспумитов (вспененных лав), перемежающихся с агломератовыми туфами; границы между туфами и игнимбритами нечеткие, реже подчеркнуты линзообразными телами витрофиров, почти полностью состоящих из вулканического стекла. Среди игнимбритов отмечаются лавы липаритов и дацитов, среди туфов — линзовидные прослои туфоалевролитов, туфоаргиллитов, песчаников. Существенная роль в разрезах принадлежит ритмично-слоистым озерно-кратерным образованиям — опалитам, опоковидным и вулканогенно-осадочным породам (кальдеры Барачная и Базовская, вулкано-тектоническая структура Мало-Михайловская и др.). Широко развиты крупные пластообразные тела лейкократовых гранитов крайне однообразного петрографического состава. Пирокластические и эффузивные фации этой толщи залегают с резким угловым несогласием и перерывом на вулканитах сенон-датского комплекса, заполняя неровности древнего рельефа.

Породы нижней части формации сильно дислоцированы. В них часто наблюдаются вертикально стоящие пласты и сжатые складки с явлением сильного будинажа; повсеместно развит сильный кливаж. В верхней части формации вулканиты образуют пологие брахиформные

складки с углом наклона слоев на крыльях 10—40°, реже они практически горизонтальны. В массиве породы трещиноваты до глубины 50—70, реже до 100 м. Наиболее интенсивно трещиноватость развита в интервале от 1 до 40 м, а также в зонах тектонических нарушений, вблизи которых породы брекчированы и перемяты. Трещины открытые шириной от волосных до 1, реже до 3 см, местами заполнены глинистым материалом, кварцем и карбонатом. Наибольшей прочностью обладают спекшиеся туфы, игнимбриты, массивные и брекчиевые лавы липаритов, представляющие собой плотные, крепкие и очень крепкие породы с толстоплитчатой, крупноглыбовой и параллелепипедальной формой отдельности. Временное сопротивление сжатию массивных липаритов в сухом состоянии $1200 \cdot 10^5$—$2000 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — до $1842 \cdot 10^5$ Па; пористость до 1,5%; водопоглощение 0,3—0,4%. У игнимбритов и дацитов временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $1200 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — до $1100 \cdot 10^5$ Па. У выветрелых тонкоплитчатых липаритов временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $629 \cdot 10^5$—$680 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $550 \cdot 10^5$—$600 \cdot 10^5$ Па, пористость выше 25%; водопоглощение 0,8%. Разнообломочные туфы разной степени плотности, плитчатые и массивные; наиболее крепкие среди них характеризуются временным сопротивлением сжатию в сухом состоянии $1890 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $1260 \cdot 10^5$ Па, после замораживания — $1300 \cdot 10^5$ Па; пористостью 2,6—4,2%; водопоглощением 0,5—1,3%.

Андезит-липаритовая формация (верхи сенона—палеоцен) распространена главным образом в бассейне р. Самарги и в низовьях р. Амура. Характерным для формации является наличие отдельных стратовулканов с существенной ролью экструзивных и субвулканических фаций. Типичными породами формации являются андезиты, андезито-дациты и стекловатые плагиолипариты. Между всеми этими разностями существуют взаимопереходы. Своеобразие формации заключается в возрастающей роли порфировых выделений и появлении в верхах формации невадитов (андезито-дациты и дациты с содержанием вкрапленников свыше 50%). В составе формации, кроме того, отмечаются агломератовые, псефитовые, псаммитовые и пелитовые туфы, туфолавы, лавобрекчии. Мощность отложений до 700 м.

Породы формации в массиве с инженерно-геологической точки зрения не изучены. Прочностные свойства липаритов и андезитов близки аналогичным образованиям в составе андезитовой и липаритовой формаций.

Гранитоидная формация объединяет интрузивные образования позднемелового и палеогенового возраста. В составе формации выделяются граниты, гранодиориты, монцониты, диориты и в меньшей степени габбро и габбро-диориты. Размеры интрузивных массивов варьируют в широких пределах—от мелких штоков, лакколитов, силлов до крупных плутонов площадью 200—400 и даже 1000 км² (преобладают площади от 10 до 100 км²). Контактовый метаморфизм выражен в преобразовании вмещающих пород в роговики и породы типа вторичных кварцитов. При крутопадающих контактах массивов зоны контактово-измененных пород не превышают первых десятков метров, при пологих достигают 1—2 км. В местах скопления интрузивов либо слабо эродированных плутонов зоны контактовых ореолов расширяются до 10 км. Строение большинства массивов простое, чаще они сложены диоритами, гранодиоритами либо гранитами. Реже отмечаются массивы, образованные продуктами магматической деятельности разных фаз — от основных пород до кислых, а иногда разных возрастных комплексов. Для одних интрузивов характерно постоянство состава сла-

гающих их пород, в других отмечается грубозональное распределение фаций.

Граниты, гранодиориты и монцонито-гранодиориты, наиболее распространенные среди интрузивных образований породы, от полнокристаллических неравномерно-, средне- и крупнозернистых до плохо раскристаллизованных и порфировых. Структура пород резко выраженная гипидиоморфно-зернистая, с характерными участками монцонитовой, гранитовой, аляскитовой и других, в зонах тектонических нарушений ведущее значение приобретают катакластические и бластокатакластические структуры. Прочностные свойства интрузивных образований колеблются в широких пределах. Наибольшая прочность свойственна палеогеновым гранитоидам, что объясняется субвулканическим характером этих образований, наличием структур, близких к эффузивным. Прочностные свойства позднемеловых гранитоидов в значительной мере зависят от степени выветрелости, а также наличия зон тектонически нарушенных пород. Плотность гранитов и гранодиоритов 2,6—2,8 г/см^3, габбро, диоритов и диорит-порфиритов — 2,8—3,3 г/см^3. Объемная масса в среднем 2,5—2,7 г/см^3. Водопоглощение у гранитов и гранодиоритов 0,4—0,8, у габбро и диоритов — 0,8—0,9. Слаботрещиноватым и невыветрелым разностям свойственны высокие значения прочности: временное сопротивление сжатию массивных гранодиоритов в сухом состоянии $2176 \cdot 10^5$—$2800 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $1915 \cdot 10^5$—$2600 \cdot 10^5$ Па, после замораживания — $1650 \cdot 10^5$—$2500 \cdot 10^5$ Па; у мелкозернистых и аляскитовых гранитов оно может повышаться до $3000 \cdot 10^5$ Па. Временное сопротивление сжатию габбро и диоритов в среднем несколько ниже, чем у гранитоидов: в сухом состоянии $1230 \cdot 10^5$—$2610 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $1090 \cdot 10^5$—$1660 \cdot 10^5$ Па, после замораживания — $1350 \cdot 10^5$—$1470 \cdot 10^5$ Па, хотя возможны и более высокие показатели; у выветрелых гранитов и гранодиоритов в сухом состоянии оно снижается до $800 \cdot 10^5$—$1420 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — до $700 \cdot 10^5$—$820 \cdot 10^5$ Па.

Базальтовая, включая платобазальтовую, и контрастная базальт-трахилипаритовая формации объединяют вулканиты эоценового, олигоценового, средне-позднемиоценового и плиоцен-четвертичного возраста, слагающие обширные платообразные поверхности и хорошо выраженные в рельефе структурные плато, наиболее обширные из которых достигают площади до нескольких тысяч квадратных километров. Среди вулканитов базальтовой формации преобладают базальты и андезито-базальты, менее развиты андезиты, трахибазальты, дациты, трахиты и вулканические стекла (перлиты, обсидианы) умеренно кислого состава. В разрезах нижней части формации (эоцен, миоцен) помимо эффузивов существенную роль играют пирокластические образования — агломераты, туфобрекчии, туфы и туфогенно-осадочные породы: туффиты, туфопесчаники, реже диатомиты и опоки. Для верхней части (платобазальты) характерны многочисленные прослои песков, гравелистых песчаников, галечников до 4,5—10 м и горизонты кор выветривания (супеси, суглинки, глины) мощностью 0,1—8 м. Мощность базальтовых потоков увеличивается с запада на восток либо от периферии плато к центральным частям и по направлению потоков от долей метров до нескольких десятков метров. Длина потоков также различна, нередко превышает десятки километров; окончания некоторых из них скрыты под водами Татарского пролива. При широком растекании лав, свойственном вулканитам платобазальтовой формации, формировались обширные покровы, обладающие идеально ровной, иногда слабонаклонной поверхностью. Мощность ба-

зальтовых покровов увеличивается с запада на восток от первых десятков метров до 300—400 м. Максимальная мощность 600—700 м, а возможно и до 1000 м, установлена в районе озер Кизи и Кади. В составе базальт-трахилипаритовой формации, помимо базальтов и андезитов, существенная роль принадлежит дацитам, трахидацитам, трахитам, трахилипаритам, их туфам и туфобрекчиям, туфопесчаникам и туфоалевролитам, туффитам и опокам. Пирокластические породы, слагающие горизонты до 25—30 м, тяготеют к нижней части разреза; маломощные прослои туфогенно-осадочных пород — к верхней. Эффузивные разности залегают в виде покровов незначительной протяженности (не более 1—2 км) мощностью 10, реже до 50 м, куполов и многочисленных даек разной размерности. Общая мощность отложений 100—200, реже до 500 м.

С базальтовой формацией связаны многочисленные субвулканические породы: базальты, андезиты, габбро-базальты, крупнокристаллические габбро и др. Ими сложены многочисленные купола, небольшие штокообразные тела и некки, дайки и интрузивные залежи. Мощность даек от нескольких сантиметров до 25 м. Площадь куполов, штокообразных тел и некков до 1,5 км^2.

Залегание пород формации моноклинальное и горизонтальное. Степень дислоцированности уменьшается снизу вверх по разрезу. Очень слабые тектонические нарушения (обрушения) происходят и в настоящее время в платобазальтах в результате блоковых подвижек в прибрежной полосе Татарского пролива. В зоне выветривания до глубины 50—60 м породы сильно трещиноваты, глубже отмечается чередование трещиноватых и слаботрещиноватых, местами монолитных пород. Количество трещин от 1 до 10 на 1 м. Трещины открытые шириной от 0,5 мм до 5 см и закрытые, выполненные цеолитами, карбонатами либо глинистым материалом. Преобладают плитчатая, пластовая, крупноглыбовая формы отдельности, реже отмечаются столбчатая, шаровая и концентрически-скорлуповатая.

Базальты и андезито-базальты, составляющие до 80% объема пород формации, представляют собой породы афирового и порфирового (10—50%) сложения. В нижних частях базальтовых потоков развиты мелкопористые афировые сильнотрещиноватые разновидности, нередко содержащие обломки пород предшествующих потоков — туфов, базальтов, иногда более древних образований. Средние части потоков сложены плотными массивными базальтами с долеритовой и пойкилоофитовой структурами. В верхних частях развиты афировые, стекловатые сильнопузырчатые и ноздреватые разновидности, нередко окрашенные в буровато-красные тона. Пустоты, вытянутые по направлению потоков, достигают 10 см по длинной оси и 2 см в высоту, часто заполнены глинистым материалом, кальцитом, цеолитами. Породы местами подвержены интенсивным вторичным изменениям, особенно окварцеванию.

Базальтоиды устойчивы к размыву и поверхности плато, совпадающие с поверхностью лавового покрова, долгое время успешно противостоят денудации. Долины рек в базальтах узкие с крутыми стенами, эрозия рек здесь также затруднена, и только лишь при подмыве базальтов на всю мощность, до подстилающих мягких, легкоразмываемых пород, долины резко расширяются. Наибольшая прочность свойственна афировым оливинсодержащим базальтам, меньшая—порфировым авгитовым и плагиоклазовым. У базальтоидов с гиалопилитовой и витровировой структурами прочность на 20—45% меньше, чем с интерсертальной (Лысенко, 1972). Это объясняется тем, что значительное содержание вулканического стекла придает базальтондам некоторую хрупкость и

способность легко раскалываться при динамическом воздействии. Плотность плотных базальтов 2,9—3,3 г/см³ (при пористости, не превышающей 5%), андезито-базальтов — 2,7—2,9 г/см³, андезитов, дацитов, трахитов, липаритов — 2,65—2,8 г/см³; объемная масса соответственно 2,6—3 г/см³, 2,6—2,8, 2,4—2,7 г/см³; водопоглощение 0,3—0,4%; коэффициент размягчения 0,65—0,9, при этом наиболее высокие значения свойственны базальтам. Временное сопротивление сжатию базальтов в сухом состоянии $2600 \cdot 10^5$—$5000 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — до $2150 \cdot 10^5$ Па; андезито-базальтов соответственно $1200 \cdot 10^5$—$3000 \cdot 10^5$ и $908 \cdot 10^5$—$2595 \cdot 10^5$ Па; андезитов соответственно $2650 \cdot 10^5$—$2680 \cdot 10^5$ и $1908 \cdot 10^5$—$2385 \cdot 10^5$ Па; дацитов, трахитов, липаритов соответственно $1200 \cdot 10^5$—$2695 \cdot 10^5$ и $1080 \cdot 10^5$—$1740 \cdot 10^5$ Па. Прочностные свойства выветрелых и сильно пористых (ноздреватых) базальтов и андезито-базальтов значительно ниже. Временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $110 \cdot 10^5$—$1445 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — до $1020 \cdot 10^5$ Па (наиболее высокие показатели характеризуют андезиты). Плотность их колеблется от 1,7 до 2,8 г/см³; объемная масса 1,7—2,5 г/см³. Пористость базальтов от 30 до 75%, андезитов до 25—30%. Водопоглощение до 20%, коэффициент размягчения в среднем 0,45—0,65.

Прочностные свойства туфов и туфогенно-осадочных пород колеблются в широких пределах. По данным единичных определений, временное сопротивление сжатию их в сухом состоянии от $400 \cdot 10^5$ до $1890 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — до $1256 \cdot 10^5$ Па. Пористость не превышает 8—10%, водопоглощение до 5%.

Грубообломочная и угленосная моласса межгорных впадин объединяет туфогенно-осадочные отложения палеоген-неогенового возраста, сформировавшиеся в континентальных условиях в небольших по размерам изолированных бассейнах. В составе формации преобладают разнозернистые песчаники и глины; в периферических частях впадин отложения максимально насыщенны грубообломочным материалом. Мощность прослоев конгломератов и гравелитов от 0,2 до 20 м. Угленосная толща сложена преимущественно аргиллитами, алевролитами, тонкозернистыми песчаниками, песками, глинами, бурыми углями, опоками и другими породами. Мощность отдельных прослоев от 0,1 до 10 м, реже более. Общая мощность пород увеличивается с запада на восток от 50 до 250, реже достигает 450 м (в прибрежной части территории). Для пород формации характерна неравномерная степень литификации: переслаивание уплотненных разностей с рыхлыми. По данным единичных анализов плотность аргиллитов 2,65—2,67 г/см³; глин — 2,6—2,7 г/см³; объемная масса соответственно 1,8—2,2 и 1,9—2,1 г/см³, песков — 1,35—1,40 г/см³. Естественная влажность аргиллитов 14—30%, глин — 16—28%, пористость соответственно 35—41 и 33—42%.

Элювиальные образования и отложения склонового ряда четвертичного возраста сплошным чехлом покрывают склоны и вершины гор. Элювиальные отложения развиты преимущественно на базальтовых плато и состоят в нижней части разрезов из тяжелых суглинков со щебнем и округлыми глыбами базальтов, выше щебнистыми (до 10%) суглинками и глинами мощностью от 1 до 6 м. Преобладают супесчаные, суглинистые и глинистые фракции. На интрузивных породах и эффузивах кислого и среднего состава элювиальные отложения представлены дресвой, легкими суглинками и супесями с дресвой и щебнем (до 30—60%). На гребнях водоразделов и вершинах гор, сложенных эффузивами, местами наблюдаются скопления крупных и гигантских глыб диаметром от 0,3 до 3 м. Формирование этих развалов продолжается

и в настоящее время под влиянием сезонного морозного выветривания, но особенно интенсивно происходило в позднеплейстоценовое время.

Оползневые накопления широко развиты в районах развития базальтов. Они представлены обломочным несортированным материалом, состоящим из хаотического нагромождения глыб размером до 3 м и более, промежутки между которыми заполнены щебнем и суглинком. Мощность отложений часто превышает 25 м. Иногда оползневые накопления представлены сползшими блоками почти не раздробленных базальтов длиной от нескольких метров до сотен метров.

Коллювиальные образования представлены незакрепленными, полузакрепленными и закрепленными осыпями, развитыми на склонах крутизной более 25°. Закрепленные и полузакрепленные осыпи, как правило, подстилают незакрепленные. Промежутки между глыбами и щебнем в закрепленных осыпях выполнены суглинками и супесями со щебнем и дресвой. Мощность закрепленных осыпей нередко достигает 10 м, незакрепленных не превышает 6 м. Незакрепленные склоновые отложения представлены щебнистыми суглинками с глыбами и дресвой. Верхняя часть разреза в основном сложена гумусированными суглинками со щебнем и дресвой. Мощность склоновых отложений в верхней части склонов до 1,5 м, у основания достигает 10 м.

Инженерно-геологические свойства отложений склонового ряда изучены слабо, общая характеристика их приведена в I разделе.

Морские отложения позднеплейстоценового, голоценового и условно среднеплейстоценового возраста слагают морские террасы, пляжи, косы и береговые валы. Террасы сложены снизу гравийно-галечниковым материалом с валунами, прослоями песков, суглинков мощностью 1—2 м, выше — суглинками и супесями с гравием, галькой, валунами и глыбами мощностью 5—6 м. В верхней части террас до глубины 6—8 м нередко наблюдаются горизонты илов с гравием и галькой. По направлению к коренным берегам в отложениях морских террас отмечается примесь щебнисто-глыбового материала. Общая мощность отложений морских террас 12—15 м. Пляж и косы сложены преимущественно гравелистыми песками либо гравийно-галечниковыми отложениями с редкими включениями глыб и валунов; на участках низменных берегов — песчано-илистыми и илистыми осадками. Береговые валы сложены хорошо сортированными песками. Мощность отложений пляжа, кос и береговых валов от 1 до 6 м.

Морские отложения в инженерно-геологическом отношении изучены слабо. Они характеризуются рыхлым либо слабо уплотненным (отложения пляжа, кос, береговых валов) сложением. Плотность пород по единичным определениям варьирует от 2,64 до 2,7 г/см^3; объемная масса песков 1,64—1,95 г/см^3, глинистых грунтов — 1,51—1,6 г/см^3. Соответственно коэффициент пористости 0,9—1 и более, что связано с наличием илов. Наибольшей плотностью отличаются глины, слагающие террасы, у них коэффициент пористости уменьшается до 0,52—0,63. Естественная влажность песков 33—49%, глин и суглинков — 51—54%. Консистенция глинистых грунтов чаще мягкопластичная и текучая, хотя на террасах встречаются уплотненные, дегидратированные грунты твердой и тугопластичной консистенции. Угол естественного откоса гравийно-галечниковых грунтов в сухом состоянии до 42°, под водой — 25°; песков соответственно 30—38° и 25—27°.

Аллювиальные отложения средне-, позднеплейстоценового и голоценового возраста слагают надпойменные террасы, высокую пойму и русло и имеют четко выраженное двучленное строение. Пойменная фация (верхняя часть) представлена супесями, тяжелыми и иловатыми

суглинками, реже песками с прослоями глин, галечников, гравия, горизонтами погребенных почв мощностью 0,2—0,5 м. Мощность отложений пойменной фации от 0,1 до 4 м, в верховьях рек до 1 м. Русловая фация (нижняя часть) состоит из плохо сортированного песчано-гравийно-галечникового материала с включениями глыб, валунов, с линзами песков, супесей и суглинков. Общая мощность аллювиальных отложений в верхних частях долин 1—3, реже до 5 м, в нижних — до 15—25 м. Аллювиальные отложения в инженерно-геологическом отношении изучены слабо.

По единичным определениям плотность галечников и песков колеблется от 2,6 до 2,8 г/см^3, супесей с галькой и гравием — от 2,63 до 2,66 г/см^3; объемная масса галечников 1,77—1,95 г/см^3, песков — 1,35—1,99 г/см^3, супесей — 1,84—2,18 г/см^3; объемная масса скелета соответственно 1,75—1,78 и 1,54—1,94 г/см^3. Пористость незначительная, сложение среднеплотное и плотное, на участках пойм рыхлое. Угол естественного откоса песков в сухом состоянии 35°, под водой — 26—27°; угол внутреннего трения в супесях до 25°. Сила сцепления галечниковых грунтов (с учетом заполнителя) до $0{,}01 \cdot 10^5$ Па, супеси с галькой — $0{,}2 \cdot 10^5$ Па. Глинистые грунты полутвердой и тугопластичной консистенции (число пластичности 18—28). Модуль общей деформации гравийно-галечниковых грунтов $280 \cdot 10^5$—$300 \cdot 10^5$ Па, супесей с галькой и гравием — до $180 \cdot 10^5$ Па.

Аллювиально-морские и озерно-лагунные отложения позднеплейстоценового и голоценового возраста слагают верхние части надпойменных террас в устьевых частях рек, а также фациально замещают морские голоценовые отложения на участках развития озер (остаточных лагун) вдоль побережья Татарского пролива. Они сложены переслаивающимися глинами, суглинками, песками, супесями, илами. Мощность этих отложений 6—8, реже до 12 м. Отложения очень рыхлые, с высокой пористостью, со скрытотекучей и текучей консистенцией, с сильной сжимаемостью и малым сопротивлением сдвигу.

Гидрогеологические условия

Преобладающую часть региона занимают резко расчлененные горные массивы, сложенные в основном разновозрастными вулканогенными породами, в зоне интенсивного выветривания и тектонической трещиноватости которых содержатся трещинные и трещинно-жильные воды. Мощность зоны активной трещиноватости пород от 30 до 100 м, возрастая от водоразделов к нижним частям склонов и днищам долин. Благодаря резкой расчлененности массивов, обусловливающей большие скорости движения вод, водоразделы в периоды отсутствия атмосферных осадков быстро дренируются. После дождей в их пределах образуются кратковременные приповерхностные потоки, которые, выклиниваясь у подножий склонов, вызывают заболачивание речных террас.

Трещинные воды аккумулируются преимущественно в нижних частях склонов и долинах, где залегают на глубине от 3 до 25 м. Как правило, они безнапорные, редко слабонапорные; величины последних не превышают 5—6 м. Водообильность пород в целом невысокая. Коэффициенты фильтрации с глубиной быстро уменьшаются — от 2—5 м/сут в приповерхностной зоне (до глубины 3—5 м) до сотых долей метра в сутки в более глубоких слоях. Дебиты скважин от 0,02 до 2 л/с при понижениях уровня на 2—60 м. Удельные дебиты не превышают 1,2 л/с, обычно составляют сотые доли литра в секунду. Дебиты родников пре-

имущественно менее 1 л/с, лишь в зонах тектонических нарушений они увеличиваются до 3—4 л/с. По составу воды гидрокарбонатные, реже гидрокарбонатно-хлоридные, смешанные по катионам; минерализация 0,01—0,25 г/л; жесткость 0,1—2 мг·экв/л. Иногда содержат в незначительных количествах железо. Благодаря низкой минерализации они, как правило, обладают выщелачивающей агрессивностью.

С зонами тектонических нарушений связаны выходы минеральных азотно-щелочных термальных вод. Дебиты термальных источников составляют 0,4—3 л/с, дебиты скважин — до 18 л/с. Воды слабоминерализованные (0,1—0,3 г/л), сульфатно-гидрокарбонатные или гидрокарбонатные натриевые, с температурой 20—54°, газируют азотом. Агрессивными свойствами, как правило, не обладают.

К кайнозойским вулкано-тектоническим понижениям приурочены супербассейны. Орографически они выражены в виде плато. Фундаментом супербассейнов служат дислоцированные вулканогенные породы мела и палеогена. Чехол образован плиоценозыми (Совгаванский, Нахтахинский, Кхуцинский супербассейны) или миоценовыми (Кизинский супербассейн) базальтами, залегающими горизонтально или слабо наклонно. Водоносными являются сильнотрещиноватые, пористые и пузыристые разности базальтов. Монолитные покровы и глинистые коры выветривания служат водоупорами. Мощности отдельных водоносных горизонтов колеблются от 1 до 60 м, водоупоров — от 2 до 75 м. Воды трещинно-пластовые и порово-трещинно-пластовые. Верхний водоносный горизонт носит грунтовой характер, редко в нем отмечаются местные напоры величиной 1—3 м. Глубина залегания вод от 1—5 м в долинах до 40 м на междуречьях. Нижезалегающие горизонты напорные. Пьезометрические уровни устанавливаются близ поверхности земли, иногда несколько превышают ее. Показатели фильтрационных свойств платобазальтов изменяются от 1 до 10 м/сут, в единичных случаях достигают нескольких десятков метров в сутки. Как правило, они уменьшаются с глубиной как в пределах всего разреза в целом, так и в пределах каждого водоносного пласта, а также в направлениях от периферических частей структур к их центру. При понижениях уровня на 1,7—23 м дебиты скважин достигают 1—15 л/с, при самоизливе — 3—4 л/с. Воды супербассейнов ультрапресные с минерализацией до 0,1 г/л, гидрокарбонатные магниевые или смешанные по катионам, обладают выщелачивающей агрессивностью.

Небольшие кайнозойские впадины, выполненные угленосной молассой, представляют собой артезианские бассейны. Гидрогеологически они весьма слабо изучены. Предполагается наличие в этих впадинах напорных порово-трещинных пластовых вод. Водообильность отложений, благодаря их существенно глинистому составу, видимо, слабая.

Современные геологические процессы и явления

Современные геологические процессы и явления пользуются в пределах региона сравнительно ограниченным распространением, и наиболее характерными и значительными среди них являются оползни и осыпи.

Оползневые процессы наиболее широко развиты в пределах и по периферии базальтовых плато. Длина оползневых склонов нередко достигает 5—7 км при ширине 1—4 км; по вертикали амплитуда смещения составляет 100 м и более. Вблизи бровки склона часто отмечается

стенка отрыва высотой до 10—20 м. В результате наиболее крупных перемещений блоков пород днища долин и водотоки нередко оказываются перегороженными (р. Коппи). Интенсификация оползневого процесса наблюдается в период интенсивных ливней и продолжительных дождей.

Осыпи незакрепленные и закрепленные формируются на крутых (до 35°) участках склонов и состоят из остроугольных и округлых глыб размером до 1 м в поперечнике (преобладают глыбы размером 0,1—0,5 м) с незначительной примесью суглинистого материала. Площадь, покрытая осыпями, нередко достигает 5—10 км². Незакрепленные осыпи движутся в настоящее время, закрепленные могут прийти в движение по склону под нагрузками.

Эрозионные процессы, связанные с деятельностью поверхностных вод, протекают сравнительно медленно. Средняя интенсивность размыва берегов около 0,5 м в год. В отдельные годы в периоды паводков происходит обрушение берегов на 5—10 м при высоте обрывов 0,5—12 м и протяженности до 500 м. Размыв берегов и овражкообразование, интенсивному протеканию которых благоприятствуют часто повторяющиеся (1 раз в 2—3 года) катастрофические наводнения, наиболее активно проявляются на участках развития слабо сцементированных и рыхлых песчано-глинистых отложений и в нижних частях склонов, где нарушен растительный покров. Ширина размыва может достигать 7—10 км. Рост оврагов затухает с вскрытием коренных пород.

На значительном протяжении регион подвержен воздействию морской абразии, наиболее интенсивно протекающей на участках высоких массивных берегов. Под действием морской волны здесь образуются волноприбойные уступы и ниши, подводные и надводные камни.

Климатические условия региона в сочетании с гидрогеологическими факторами (неглубокое залегание водоносных горизонтов) весьма благоприятствует наледообразованию. Наиболее распространены сезонные наледи, существующие 5—7 мес (до июня) в южной части региона и до 8 мес (до августа — сентября) в северной. Мощность наледей колеблется от нескольких десятков сантиметров до 3—4 м. Наибольшую опасность на трассах железных и автомобильных дорог представляют наледи, образующиеся в результате подрезки склонов и нарушения режима грунтовых вод. Борьба с наледями ведется в течение всей зимы и с большими затратами (железнодорожная линия Пиваиь — Советская Гавань).

Территория региона относится к сейсмически опасной. На большей ее части возможны землетрясения силой 5—6 баллов; в районе г. Партизанска сила землетрясений может достигать 7—12 баллов.

РЕГИОНЫ ОСТРОВОВ И ПОЛУОСТРОВОВ ТИХООКЕАНСКОГО СЕКТОРА

САХАЛИНСКИЙ РЕГИОН

Регион охватывает весь Сахалин, в тектоническом отношении представляющий особую структуру — Сахалинскую складчатую систему. По характеру рельефа остров четко делится на две части: преимущественно горную — Средний и Южный Сахалин и равнинную — Северный Сахалин. В пределах его горной части в меридиональном направлении протягиваются Западно-Сахалинские и Восточно-Сахалинские горы, разделенные Тымь-Поронайской низменностью. Южнее расположены Сусунайский и Тонино-Анивский хребты, разделенные Муравьевской низмен-

ностью. Между Сусунайским хребтом и Западно-Сахалинскими горами протягивается узкая Сусунайская низменность. Преобладающую часть Северного Сахалина занимает Северо-Сахалинская равнина, замыкающаяся низкогорным сооружением п-ова Шмидта.

Западно-Сахалинские горы обладают структурно-эрозионным расчлененным рельефом и состоят из системы субпараллельных куэстообразных хребтов и межгорных понижений северо-западного простирания, возникших на ритмично построенных толщах пород, обладающих различной устойчивостью к выветриванию. Направление хребтов и понижений четко наследует простирание пород. Наибольшие высоты (до 1300 м) характеризуют восточные цепи гор. Здесь горные хребты сильно расчленены, с узкими гребнями, крутыми склонами (35—50°), местами обрывистыми. Относительные превышения над днищами речных долин достигают 600—1000 м. К югу, северу и западу хребты постепенно понижаются до 600—900 м, уменьшается и крутизна склонов (до 25—40°), расширяются и выполаживаются водоразделы. Особняком стоит горная группа м. Ламанон, представляющая собой снижающееся (от 800 до 300 м) в сторону моря плато, сложенное плиоценовыми базальтами. Над поверхностью плато возвышаются конусообразные вершины хорошо сохранившихся древних вулканов. Восточно-Сахалинские горы состоят из отдельных извилистых и ветвящихся в плане хребтов, горных возвышенностей и немногочисленных, но достаточно протяженных межгорных депрессий. Они характеризуются эрозионным среднегорным густо и глубоко (600—1100 м) расчлененным рельефом, преимущественно массивными очертаниями хребтов с куполовидными, иногда копусовидными вершинами высотой 1300—1600 м и крутыми склонами (30—50°), местами обрывистыми. Сусунайский и Тонино-Анивский хребты и горы п-ова Шмидта представляют собой сильно расчлененные эрозионные низкогорья с узкими гребнями и крутыми склонами (30—40°). Тымь-Поронайская и Сусунайская низменности небольшой ширины и значительной протяженности. Абсолютные отметки поверхности в южной и северной частях Тымь-Поронайской низменности 40—60 м, в центральной — 100—120 м, отметки Сусунайской низменности не превышают соответственно 10 и 60 м. Северо-Сахалинская равнина с холмисто-увалистой поверхностью осложнена невысокими меридиональными грядами с отдельными изолированными горными вершинами (Даахуриа, Вагис). Прибрежная ее часть представляет собой плоскую заболоченную низменность с многочисленными озерами. Абсолютные высоты равнины в основном не превышают 100 м, а в пределах гряд — 150—200 м, отдельные вершины достигают 300—600 м.

Береговая линия на юге и в средней части острова изрезана, с глубоко вдающимися заливами Анива и Терпения. На остальных участках близка к прямолинейной. Берега в горной части острова преимущественно скалистые абразионно-тектонические с крутизной склонов 30—70° и высотой обрывов до 100—150 м, в пределах Северо-Сахалинской равнины и депрессий — низменные аккумулятивные, часто с заливами и озерами лагунного типа, отчлененными от моря песчаными косами и барами.

На Сахалине распространены многочисленные мелководные реки. Горные реки с ветвящимися короткими и узкими долинами преимущественно широтного направления с крутыми склонами, многочисленными водопадами высотой до 50—70 м. Равнинные реки, к числу которых принадлежат наиболее крупные реки острова (Тымь и Поронай), имеют низкие заболоченные берега, в среднем и нижнем течении сильно меандрируют. Для рек характерны два паводка в год: весенний, связан-

ный с таянием снега, и летне-осенний, вызванный муссонными дождями.

Климат региона преимущественно морской, суровый. Среднегодовая температура воздуха на севере и в пределах Тымь-Поронайской низменности минус 2°, на остальной территории — от +0,7 до +2°. Характерны высокая относительная влажность (76—80%) и значительное количество осадков (от 600 мм на северо-западе до 800—1200 мм на юге и востоке). Период со снежным покровом продолжается 6—6,5 мес. Высота снежного покрова 50—80 см. Глубина сезонного промерзания грунтов под снежным покровом 1—1,5 м, на оголенных участках в Тымь-Поронайской низменности и на Северо-Сахалинской равнине — до 2,5 м. Благодаря отепляющему действию моря многолетняя мерзлота в пределах острова отсутствует. Лишь на болотах Северо-Сахалинской равнины и Тымь-Поронайской низменности встречаются небольшие (0,025—1,5 км²) острова перелетков мощностью 2—7 м, залегающие на глубине 0,5—2 м.

Остров расположен в зоне тайги. До высоты 700—900 м горы покрыты преимущественно темнохвойными лесами. Выше простирается пояс каменно-березовых лесов, сменяющихся зарослями кедрового стланика и гольцовой зоной. Для речных долин характерны лиственные леса. Северо-Сахалинская равнина и заболоченные участки в пределах низменностей покрыты лиственничными лесами.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

В тектоническом отношении Сахалин представляет позднекайнозойское складчатое сооружение, состоящее из разнородных структурных элементов, на протяжении длительного времени развивавшихся неодновременно и обособляющихся по особенностям разреза и характеру дислокаций.

Восточная часть его, на протяжении палеозоя и мезозоя существовавшая как эвгеосинклиналь, представляет складчато-блоковую зону сложного строения, состоящую из трех пространственно разобщенных структурных элементов (Восточно-Сахалинской, Тонино-Анивской и Шмидтовской зон), в пределах которых горстовые и горст-антиклинальные поднятия сложены интенсивно дислоцированными вулканогенно-кремнисто-терригенными образованиями палеозойского и мезозойского, а на п-ове Шмидта и неогенового возраста, а небольшие наложенные грабен-синклинали выполнены полого залегающими туффито-диатомитовыми и терригенными породами неогена, перекрытыми чехлом четвертичных отложений (рис. 54, а). Западная часть Сахалина, устойчиво прогибавшаяся на протяжении позднего мела — плиоцена, по типу своего развития близка к миогеосинклинали. Это линейная складчатая структура (крупная моноклиналь), сложенная складчатыми терригенными породами позднего мела и палеогена и туффито-терригенными образованиями неогена. Центральная часть острова, представляющая межгорную впадину, заложившуюся в раннем миоцене на мезопалеозойском складчатом основании, выполнена слабо дислоцированными терригенными осадками миоцена и горизонтально залегающими континентальными молассами плиоцена, на значительной площади перекрытыми четвертичными отложениями. Северная часть является наложенным кайнозойским прогибом, заложившимся в начале раннего миоцена на разнородном складчатом фундаменте и на протяжении всего неогена

устойчиво погружавшимся, более интенсивно на востоке и менее значительно на западе. Прогиб выполнен мощной (1—9 тыс. м) толщей нео-

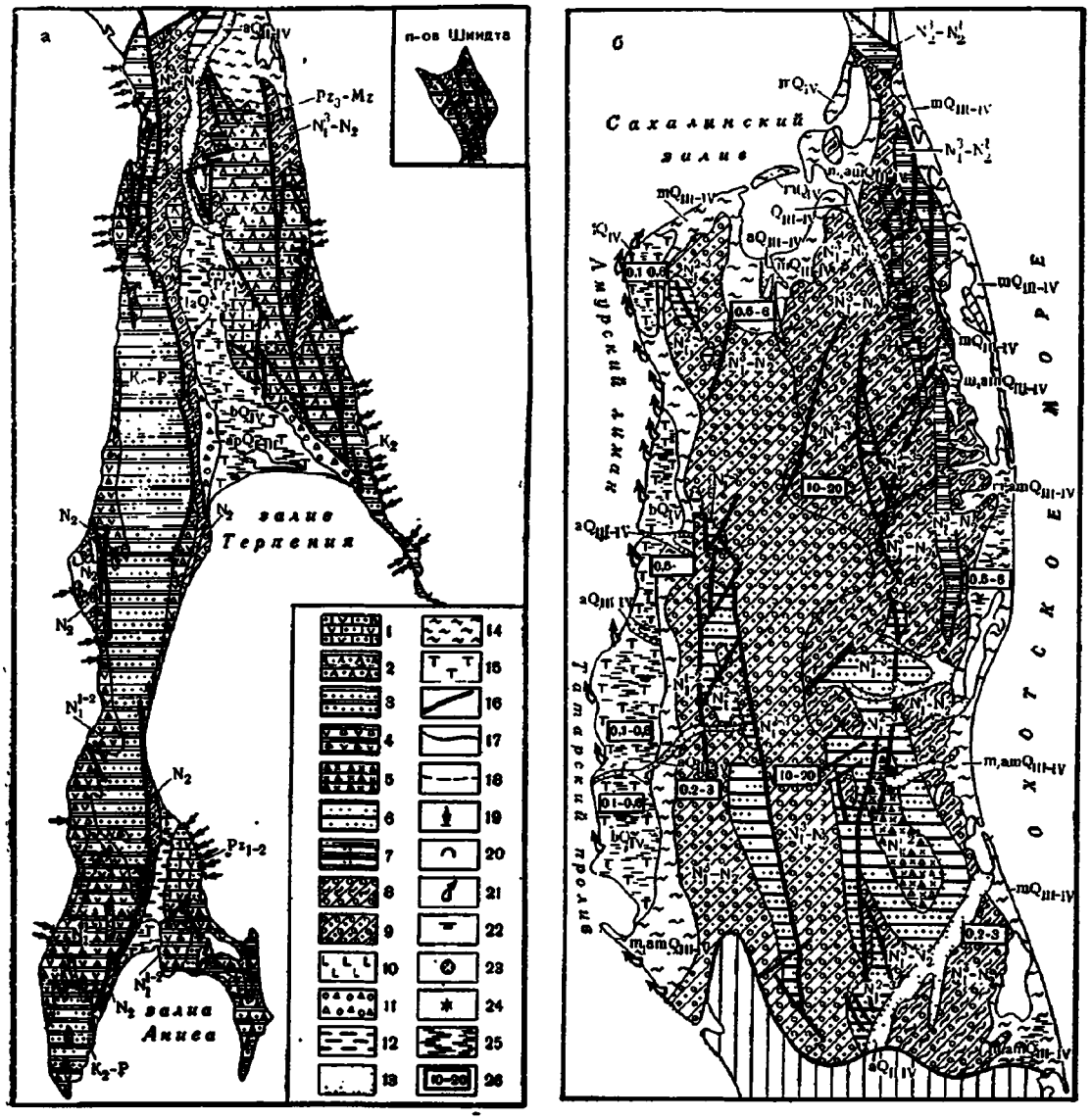


Рис. 54. Схематические инженерно-геологические карты:
а — горного Сахалина, б — Северо-Сахалинской равнины.

Формации: 1 — вулканогенно-карбонатно-терригенная (PZ_{1-2}); 2 — вулканогенно-кремнисто-терригенные (PZ_3—MZ); 3 — терригенные (K_2—P); 4 — туффито-андезитовая (N_1^{1-2}); 5 — туффито-диатомитовая (N_1^{1-2}); 6 — угленосная (N_1^{2-3}); 7 — флишоидная (N_1^3—N_2^1); 8—9 — молассовая (N_1^3—N_2), фации соответственно: морские, прибрежно-морские и континентальные; 10 — базальтовая (N_2). Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений: 11 — плейстоценовые аллювиально-пролювиальные (apQ_{I-III}); 12 — плейстоценовые озерно-аллювиальные (laQ_{I-III}); 13 — средне-верхнеплейстоценовые и голоценовые аллювиальные (aQ_{II-IV}); 14 — верхнеплейстоценовые и голоценовые морские и аллювиально-морские (m, amQ_{III-IV}); 15 — голоценовые органогенные (hQ_{IV}); 16 — разломы; 17 — границы геолого-генетических комплексов и формаций; 18 — фациальные границы; 19 — участки разрушения морских берегов; 20 — оползни; 21 — движение песков (дюны); 22 — термокарст; 23 — карстовые пещеры; 24 — грязевые вулканы; 25 — заболачивание; 26 — глубина залегания грунтовых вод

геновых терригенных осадков, собранных в пологие брахиструктуры (рис. 54, б).

Поверхностные отложения на большей части острова преимущественно маломощны (до 3, реже 20 м) и представлены в горной части и на Северо-Сахалинской равнине образованиями склонового ряда, в долинах рек — аллювиальными отложениями, вдоль морского побережья — морскими и аллювиально-морскими осадками. Значительно большая мощность поверхностных отложений в межгорных депрессиях (до 100—250 м), где развиты аллювиально-пролювиальные и озерно-аллювиальные отложения, нередко перекрытые болотными образованиями.

Вулканогенно-карбонатно-терригенная формация ранне-среднепалеозойского возраста выходит на поверхность в горстовых блоках в западной части Восточно-Сахалинских гор и на Сусунайском хребте. В нижней части разреза она представлена чередующимися графит-серицит-кварцевыми, хлорит-серицит-кварцевыми и другими слюдистыми сланцами и филлитами с подчиненным количеством мраморизованных известняков и кварцитов. Вверху преобладают зеленые сланцы и зеленокаменные породы различного состава, содержащие редкие пласты слюдяных и железистых кварцитов, филлитов, метадиабазов (до 20 м) и крупные линзы кристаллических известняков и мраморов (до 1 км). Характерно обилие пластовых и секущих кварцевых, альбит-кварцевых жил и прожилков. Мощность толщи 2000—2600 м. Породы интенсивно дислоцированы, смяты в изоклинальные, запрокинутые и лежачие складки, осложненные дополнительной мелкой складчатостью, гофировкой и плойчатостью отдельных слоев. Разбиты массой разрывных нарушений от мелких с амплитудой в несколько метров до разломов глубокого заложения. Широко развит кливаж. В зоне выветривания, особенно вблизи поверхности, породы интенсивно трещиноваты. Трещины открытые шириной от волосных до 2—3 мм. По данным Н. И. Битюцкой (1959) и М. Я. Овсеенко (1957), на Южно-Сахалинском месторождении плотность зеленых сланцев 3,01—3,12 г/см^3; объемная масса 3—3,07 г/см^3; пористость 0,1—2,7%; водопоглощение 0,1—0,5%. Прочность на сжатие в сухом состоянии колеблется от $807 \cdot 10^5$ до $1619 \cdot 10^5$, увеличиваясь с уменьшением пористости (трещинной пустотности), во влажном состоянии — $589 \cdot 10^5$—$1098 \cdot 10^5$ Па (20 определений). Слюдистые сланцы того же района, по данным Ю. М. Ковтуновича (1955), характеризуются плотностью 2,52—2,98 г/см^3; пористостью 1,1—8,3%; водопоглощением 1,19—1,78%. Прочность на сжатие в сухом состоянии: перпендикулярно сланцеватости $345 \cdot 10^5$ Па, параллельно сланцеватости — $104 \cdot 10^5$ Па.

Породы группы вулканогенно-кремнисто-терригенных формаций позднего палеозоя-мезозоя слагают большую часть Восточно-Сахалинских гор, Тонино-Анивский хребет и восточное побережье п-ова Шмидта. Это мощный (более 5000 м) комплекс осадков, сложенный незакономерно чередующимися (через 1—20 м) алевролитами, глинистыми сланцами и песчаниками, заключающими невыдержанные по мощности пачки (от 20 до 800 м) и линзы вулканогенно-кремнистых пород, роль которых заметно возрастает в северном направлении. Последние представлены кремнистыми сланцами, кремнистыми аргиллитами, яшмами, радиоляритами, спилитами, диабазовыми и андезитовыми порфиритами, туфами, туффитами. Известняки слагают линзы и пачки тонкого переслаивания с яшмами. Породы собраны в узкие крутые (до 65—80°) линейные асимметричные, иногда изоклинальные и опрокинутые складки северо-северо-западного простирания, разбиты многочисленными, часто протяженными, с боль-

шой амплитудой продольными (типа взбросов, взбросо-надвигов), диагональными и поперечными (типа сбросов и сбросо-сдвигов) разломами, сопровождающимися зонами интенсивной трещиноватости с расстоянием между трещинами 0,1—1 см. К наиболее крупным нарушениям приурочены дайки и малые интрузии меловых основных и ультраосновных пород (серпентинитов, перидотитов, пироксенитов, габбро и др.). До глубины 50—80 м породы трещиноваты. Трещины прямолинейные, в приповерхностной зоне (до 10 м) чаще открытые шириной 2—5 мм. Расстояние между трещинами 0,1—0,5 м.

Все породы, кроме глинистых сланцев, исключительно плотные, массивные, устойчивые к выветриванию с крупноблоковой отдельностью. Косвенным подтверждением прочности пород, их устойчивости в массивах может служить характер сформировавшегося на них рельефа, отличающийся массивностью очертаний, крутыми (до 50°), иногда обрывистыми склонами. На участках распространения известняков развит карст.

Физико-механические свойства пород почти не изучены. По данным Дальневосточного и Сахалинского территориальных геологических управлений плотность известняков 2,69—2,87 г/см^3; объемная масса 2,65—2,72 г/см^3; пористость 0,74—4,61%; водопоглощение 0,12—0,9% (30 определений). Прочность на сжатие зависит от структуры и степени трещиноватости известняков: для мраморизованных мелкокристаллических разностей она равна $930 \cdot 10^5$—$1230 \cdot 10^5$ Па, для среднекристаллических слаботрещиноватых пород колеблется от $546 \cdot 10^5$ до $880 \cdot 10^5$ Па (25 определений), для трещиноватых не превышает $240 \cdot 10^5$—$460 \cdot 10^5$ Па. Согласно единичным определениям плотность кремнистых сланцев 2,6 г/см^3; водопоглощение 0,3—0,7%; прочность на сжатие перпендикулярно сланцеватости $890 \cdot 10^5$—$1410 \cdot 10^5$ Па, параллельно сланцеватости — $615 \cdot 10^5$ Па.

Породы группы терригенных формаций представлены отложениями сероцветной терригенной, флишоидной и угленосной формаций позднего мела и палеогена, слагающими значительную часть Западно-Сахалинских гор, и верхнемеловыми образованиями сероцветной терригенной формации, развитыми в Восточно-Сахалинских горах и на юге Сусунайского хребта. В Западно-Сахалинских горах это мощная (около 8000 м) цикличная серия отложений, сформировавшаяся в обстановке сменяющихся трансгрессий и регрессий, следствием чего является чередование в ее разрезе морских, прибрежно-морских и континентальных осадков. На юге Западно-Сахалинских гор отложения представлены незакономерно переслаивающимися алевролитами, аргиллитами и песчаниками с подчиненными прослоями туффитов и конгломератов (песчано-глинистая сероцветная формация). В средней части разреза они содержат мощный (200—2500 м) комплекс тонкочередующихся аргиллитов и алевролитов с обильными мергелистыми конкрециями, с редкими тонкими прослоями и пластами (10—20 м) песчаников (флишоидная формация), а в верхней части — толщу (200—1200 м) континентальных угленосных образований — ритмично переслаивающихся песчаников, алевролитов, аргиллитов, конгломератов, углисто-глинистых сланцев и углей (угленосная формация). На севере Западно-Сахалинских гор эти отложения представлены преимущественно песчаниками с редкими прослоями и линзами мелкогалечных конгломератов, пластами туфов и туффитов (песчанистая сероцветная формация), заключающими в средней и верхней частях разреза мощные толщи (до 1500 м) флишоидно переслаивающихся аргиллитов и алевролитов (флишоидная формация) и угленосных отложений (угленосная

формация). Роль последних возрастает в северном направлении, где они замещают по простиранию флишоидные и песчаные образования. На юго-востоке Восточно-Сахалинских гор сероцветная терригенная формация мощностью около 4500 м состоит из аргиллитов, алевролитов, реже песчаников, образующих пачки тонкого, иногда флишоидного переслаивания (через 0,05—0,1 м) мощностью до 150—200 м, разделенные пластами песчаников, туфопесчаников или пачками (до 50 м) чередующихся гравелитов, конгломератов и песчаников. Характерны редкие прослои (до 3—4 м) пепловых туфов и туффитов кислого состава, линзообразные прослои мергеля, пласты каменных углей и углистых аргиллитов.

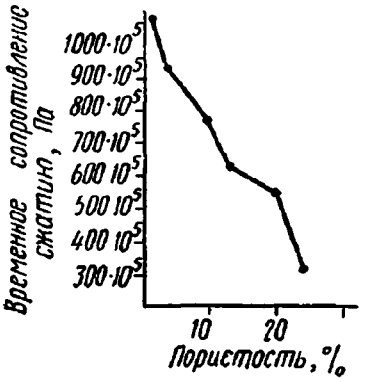


Рис. 55. Зависимость прочности песчаников флишоидной формации (K_2) от пористости; пос. Синегорск (по В. Д. Баринову)

Породы группы терригенных формаций собраны в сравнительно простые линейные, обычно симметричные складки субмеридионального простирания с падением крыльев 30—50°, часто осложненные сбросами, надвигами и сдвигами небольшой амплитуды. В Западно-Сахалинских горах они залегают в целом моноклинально с общим погружением слоев на запад под углом 30—60°, и в связи с совпадением направления водоразделов и долин с простиранием пород образуют отчетливую полосовидную структуру. До глубины 60—80 м породы трещиноваты. Трещины преимущественно прямолинейные, перпендикулярные и параллельные напластованию, шириной 1—3 мм, открытые в песчаниках и заполненные глинистым материалом в аргиллитах и алевролитах. Наиболее интенсивная трещиноватость (через 1—5 см) характерна для аргиллитов и алевролитов. Расстояние между трещинами в песчаниках 0,1—3 м.

Песчаники, гравелиты и конгломераты описываемой группы формаций плотные, крепкие, массивные, с крупноглыбовой и плитчато-глыбовой отдельностями, устойчивы к размыву и выветриванию, слагают крутосклонные водоразделы, гривки на склонах, прослеживающиеся на несколько километров по простиранию пород, образуют обрывы, пороги на реках. Согласно данным Сахалинского территориального геологического управления, песчаники характеризуются значительной неоднородностью инженерно-геологических показателей: плотность 2,59—2,80 г/см³; объемная масса 2,1—2,72 г/см³; пористость 0,6—23,4% (20 определений), обусловленной разнообразием их состава. Наименее прочными являются песчаники с глинистым цементом, характерные в основном для верхней части разреза. Временное сопротивление сжатию их в сухом состоянии колеблется от $163 \cdot 10^5$ до $441 \cdot 10^5$ Па, во влажном — от $162 \cdot 10^5$ до $346 \cdot 10^5$ Па (23 определения). Прочность на сжатие остальных разностей значительно выше ($630 \cdot 10^5$—$1100 \cdot 10^5$ Па), во влажном состоянии уменьшается на 25—30% (16 определений) и обнаруживает определенную зависимость от пористости пород (рис. 55). Аргиллиты и алевролиты, как правило, тонкослоистые, местами слегка кремнистые, скорлуповатые, легко выветриваются, образуют мелкощебнистые осыпи, слагают выположенные участки рельефа.

Образования туффито-андезитовой формации раннего-среднего миоцена слагают западные отроги и восточ-

ные предгорья Западно-Сахалинских гор и выполняют межгорные впадины на юго-востоке острова. Это вулканогенные и нормально-осадочные породы, оформировавшиеся в мелководном морском бассейне вблизи группы вулканических островов. Они представлены переслаивающимися туфогенными песчаниками, туфами андезитового состава, туффитами, туфоконгломератами, туфобрекчиями, редкими покровами базальтов и андезитов, замещающимися по простиранию и в средней части разреза туфогенными аргиллитами и алевролитами с немногочисленными прослоями туфогенных песчаников, туфов и туффитов. Местами (преимущественно на юге Западно-Сахалинских гор) отмечаются пачки флишоидного переслаивания перечисленных разностей. В основании и верхней части разреза присутствуют пласты и линзы углей. Общая мощность формации 1500—1500 м. Породы собраны в пологие складки меридионального или северо-западного простирания, осложненные серией разрывов того же направления.

Совместно с туффито-андезитовой формацией рассматриваются субвулканические породы ранне-среднемиоценового комплекса, генетически тесно связанные с эффузивами и незначительно распространенные. Это андезиты, андезито-базальты, базальты и долериты, образующие лакколиты, силлы, некки, экструзивные купола и дайки вдоль западного берега Сахалина. Все рассматриваемые образования до глубины 60—80 м трещиноваты, особенно интенсивно в интервале первых десяти метров и вблизи разрывных нарушений.

Песчаники, туфы, псаммитовые и псефитовые туффиты, туфобрекчии, туфоконгломераты и туфогенные окремненные алевролиты и аргиллиты представляют собой плотные, крепкие, массивные или слоистые породы. Согласно единичным определениям (данные Сахалинского территориального геологического управления) песчаники характеризуются плотностью 2,51—2,79 г/см^3; объемной массой 2,1—2,6 г/см^3; пористостью 7—15%; водопоглощением 0,5—7%. Прочность на сжатие обнаруживает определенную зависимость от пористости (рис. 56) и колеблется для сухого образца от $750 \cdot 10^5$ до $1380 \cdot 10^5$ Па и для влажного — от $330 \cdot 10^5$ до $780 \cdot 10^5$ Па. У туфогенных алевролитов, туфов и отдельных разностей туффитов достаточно близкие свойства (табл. 64). Полимиктовые алевролиты и аргиллиты и некоторые разно-

Таблица 64

Физико-механические свойства пород туффито-андезитовой формации

Породы, местоположение	Плотность, г/см^3	Объемная масса, г/см^3	Пористость, %	Временное сопротивление сжатию, 10^5 Па	
				сухого образца	влажного образца
Туфогенные алевролиты, г. Холмск	2,67	2,3	13,3	822	320
Туфы, пос. Дуэ	2,75	2,28	17,1	695	—
Туффиты, г. Чехов . . .	2,66	2,2	17,3	850	693

сти туффитов обладают небольшой прочностью, неустойчивы к выветриванию, легко распадаются на мелкую щебенку. Плотность аргиллитов (г. Холмск) 2,69 г/см^3; объемная масса 2,3 г/см^3; пористость 14,5%; водопоглощение 7,85%; прочность на сжатие сухого образца $248 \cdot 10^5$ Па. Туффиты из того же района характеризуются плотностью 2,68 г/см^3; объемной массой 2,19 г/см^3; пористостью 18,3%; водопоглощением 9,2%;

прочностью на сжатие сухого образца $333 \cdot 10^5$ Па, влажного — $213 \cdot 10^5$ Па. Андезиты, андезито-базальты, базальты массивные порфировые сравнительно свежего облика с мелко-, микрокристаллической, гиалопилитовой, реже витрофировой основной массой. Чаще всего встречается параллелепипедальная отдельность, реже — столбчатая и таблитчатая. Породы отличаются значительными пределами колебаний

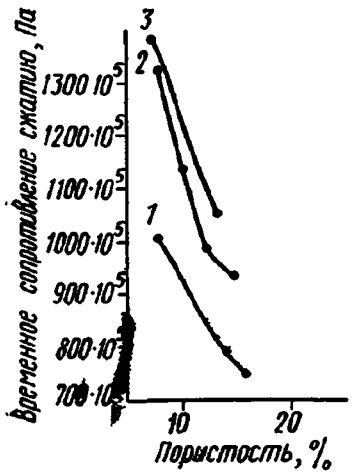


Рис. 56. Зависимость прочности песчаников туффито-андезитовой формации от пористости:
1 — при $\gamma = 2{,}66—2{,}72$ г/см³, г. Чехов (по М. З. Гутник); 2 — при $\gamma = 2{,}51—2{,}54$ г/см³, г. Холмск (по М. К. Романовскому); 3 — при $\gamma = 2{,}70—2{,}79$ г/см³, г. Краснополье (по А. В. Воронину)

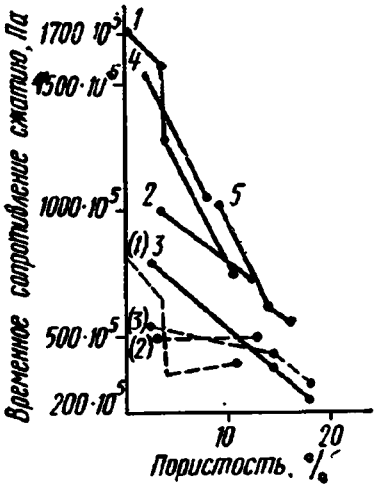


Рис. 57. Зависимость прочности эффузивных пород туффито-андезитовой формации от пористости, содержания порфиробластов и структуры основной массы:
1—3 — г. Вахрушев (по Н. В. Овсянникову): 1 — андезито-базальт с мелкозернистой основной массой; 2 — андезито-базальт с гиалопилитовой основной массой; 3 — андезито-базальт с витрофировой основной массой; 4 — базальт с диабазовой основной массой — г. Макаров (по Н. В. Овсянникову); 5 — андезит с мелкозернистой основной массой — г. Шахтерск (по А. В. Воронину); (1), (2), (3) — содержание порфиробластов, %

плотности от 2,72 до 2,93 г/см³; непостоянством общей пористости от 0,4 до 20,5%, обусловленным неравномерным распределением пор и вкрапленников, имеющих большое количество открытых микротрещин спайности; значительными колебаниями прочности на сжатие (от $245 \cdot 10^5$ до $1710 \cdot 10^5$ Па), связанными как с петрографическими особенностями (структура, крупность зерен, количество порфиробластов и их размер, вторичная трещиноватость минералов и др.), так и с пористостью и степенью свежести минералов (рис. 57). Наибольшей прочностью обладают плотные разности, имеющие мелкозернистую (долеритовую) структуру, наименьшей — породы с витрофировой структурой (Овсянников, Капица, 1971).

Туффито-диатомитовая формация пользуется незначительным распространением. Ей принадлежат нижне-среднемиоценовые

отложения, слагающие краевые части межгорных депрессий Восточно-Сахалинских гор, юго-востока острова и п-ова Шмидта, а также выходящие на поверхность на ограниченных участках в пределах Северо-Сахалинской равнины, и верхнемиоценовые образования, развитые в узкой полосе предгорий в южной части Западно-Сахалинских гор. Это монотонные толщи (мощностью до 2700 м) кремнистых аргиллитов и алевролитов, содержащие редкие прослои мелко- и среднезернистых слабо сцементированных песчаников, единичные пласты диатомитов, тонкие прослойки аргиллитоподобных окремнелых глин и многочисленные, часто крупные (до 2—3 м в диаметре), известковистые и кремнистые конкреции. В Западно-Сахалинских горах верхняя часть разреза формации (до 750 м) образована на западе алевритистыми опоками, на востоке — диатомитоподобными глинами и глинистыми диатомитами. Породы собраны в крупные пологие, часто брахиформные складки меридионального простирания с углами падения крыльев 15—20°. Кремнистые аргиллиты и алевролиты плотные, хрупкие, с раковистым изломом, неслоистые, реже тонкоплитчатые, в выветрелом состоянии опоковидные. Густой сетью тонких (менее 1 мм) трещин они разбиты на осколчатые, тонкослоистые и скорлуповатые отдельности, по трещинам легко разбираются и рассыпаются на удлиненно-остроугольную щебенку. Алевролиты характеризуются прочностью на сжатие в сухом состоянии $150 \cdot 10^5$—$300 \cdot 10^5$ Па, при водонасыщении размягчаются, не обладают морозостойкостью. Опоки вблизи пос. Шебунино и в районе пос. Охотское, по данным Сахалинского территориального геологического управления, плотностью 2,22—2,37 г/см^3; объемной массой 1,11—1,27 г/см^3; пористостью 44—51%; водопоглощением 38—45%; отдельные разности размокают, неморозостойкие (12 определений). Диатомиты Шебунинского месторождения характеризуются плотностью 2,27—2,49 г/см^3; объемной массой 1,21—1,26 г/см^3; пористостью 45,9—50,6%; водопоглощением 29—37%; прочностью на сжатие в сухом состоянии $75 \cdot 10^5$—$103 \cdot 10^5$ Па; неморозостойкие (единичные определения).

Породы угленосной формации среднего-позднего миоцена вытянуты узкой полосой вдоль западных и восточных предгорий Западно-Сахалинских гор, выходят на поверхность на отдельных участках восточного борта Тымь-Поронайской депрессии и в сводах ряда антиклинальных структур Северо-Сахалинского прогиба, образуя в рельефе гряды и увалы. Формация сложена неравномерно переслаивающимися полимиктовыми песчаниками различной зернистости, алевролитами, аргиллитами, заключающими пласты и линзы конгломератов, гравелитов, песков, аргиллитоподобных глин, углисто-глинистых сланцев, каменных и бурых углей. Характерны исключительная невыдержанность прослоев по простиранию, замещение одних разностей другими. В целом наиболее грубый состав отложений с широким развитием гравелитов и грубозернистых песчаников отмечается в Тымь-Поронайской впадине. На западе Северо-Сахалинского прогиба в составе формации существенно преобладают песчаники. На востоке прогиба, особенно в средней части разреза, и на среднем Сахалине в верхней части формации широко развиты аргиллитоподобные глины. Мощность отложений от 200 до 2800 м. Породы образуют пологие структуры меридионального или северо-северо-западного простирания, иногда рассеченные весьма протяженными разломами.

Породы угленосной формации слабо диагенезированы, обладают небольшой прочностью, неустойчивы к выветриванию. Аргиллиты и алевролиты в обнажениях разбиты трещинами на мелкую щебенку (1—3 см) либо превращены в пылеватые суглинки. Согласно данным

Дальгипротранса, время их полного разрушения на поверхности колеблется от нескольких дней до 1 года. Этот процесс резко ускоряется под действием дождей. В водонасыщенном состоянии аргиллиты и алевролиты легко размокают (щебень алевролита размером 30—40 см полностью размокает за 10—15 ч) и превращаются в глинистую массу, оплывающую по склонам. Песчаники и конгломераты на поверхности разбиты трещинами на плитчатые отдельности либо превращены в песок и галечник. Полное разложение щебня песчаника размером до 20 см в отвалах выемок происходит за 2—5 лет. Прочность песчаников в значительной степени определяется составом цемента. По данным Сахалинского территорнального геологического управления, мелкозернистый полимиктовый песчаник (г. Шахтерск) плотностью 2,52 г/см^3; объемной массой 2,28—2,36 г/см^3; пористостью 10%; водопоглощением 4,5—5,9%. В сухом состоянии выдерживает нагрузку $300 \cdot 10^5$—$370 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $190 \cdot 10^5$—$250 \cdot 10^5$ Па (единичные определения). Предел прочности на сжатие в сухом состоянии глинистых песчаников Северо-Сахалинского прогиба $185 \cdot 10^5$ Па, известковистых — $1626 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном состоянии соответственно $84 \cdot 10^5$ и $717 \cdot 10^5$ Па. Песчаники размягчаемые (коэффициенты размягчения 0,44 и 0,63), неморозостойкие. Аргиллитоподобные глины твердой или тугопластичной консистенции.

Флишоидная формация позднего миоцена-раннего плиоцена развита лишь на северо-востоке Северо-Сахалинской равнины и на Охинском перешейке. Это толща ритмично флишеподобно переслаивающихся глин, песков, алевритов, аргиллитов и слабо сцементированных песчаников мощностью 2000—3500 м, среди которых встречаются гнездообразные скопления псаммитового и гравийно-галечного материала и редкие прослои крепких известковистых песчаников. Ритмы обычно двухкомпонентные. Мощности слоев от 0,5 до 30 м. На Охинском перешейке и в пределах Паромайской структуры в составе формации резко преобладают глины и алевриты.

По гранулометрическому составу среди глинистых грунтов преобладают средние суглинки с высоким содержанием песчаной фракции (табл. 65). Предел текучести грунтов 22—36, в среднем 33%; предел раскатывания 17—22%; число пластичности 10—17% (10—20 определений). Глины и алевриты характеризуются высокой плотностью; плотность 2,6—2,71 г/см^3; объемная масса 1,98—2,19 г/см^3; пористость 27—40%; естественная влажность 14—19, иногда до 23%, консистенция твердая или полутвердая. Нормативное давление на них $2,5 \cdot 10^5$—$3 \cdot 10^5$ Па.

Глины нередко аргиллитоподобные, оскольчатые, слоистые или тонколистоватые, ненабухаемые и непросадочные. По данным испытания одиночного образца с площадки Охинской ТЭЦ, они характеризуются углом внутреннего трения 27°, коэффициентом трения 0,51 и сцеплением $0,4 \cdot 10^5$ Па.

Пески комплекса по составу неоднородные, глинистые, со значительным содержанием пылеватой фракции (см. табл. 65). Плотность их по единичным определениям 2,64 г/см^3; объемная масса 1,74 г/см^3; пористость 38%. Угол естественного откоса в сухом состоянии 35°, под водой — 24°. Иногда в разрезе отмечаются супеси (чаще тяжелые) с высоким содержанием фракций мелкого и пылеватого песка. Предел текучести супесей 21—23%; предел раскатывания 14—15%; число пластичности 5—8. Плотность 2,63 г/см^3; объемная масса 1,75 г/см^3; пористость 41%. Угол естественного откоса в сухом состоянии 38°, под водой — 30°. Нормативное давление на супеси $2,2 \cdot 10^5$ Па.

Таблица 65

Гранулометрический состав грунтов, развитых на востоке Северо-Сахалинского прогиба вдоль трассы Оха—Катангли

Грунты	Гранулометрический состав, % по весу; размер фракций, мм										Число определений
	10—2,5	2,5—1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	менее 0,001	
			Флишоидная формация позднего миоцена-раннего плиоцена								
Глины, суглинки . .	1	1	1	3	14	30	20	15	9	6	30
Пески	—	5	5	25	25		20	7	3	2	10
Супеси	0—3	1—3	1—5	1—17	18—28	20—36	10—17	5—10	0—3	3—7	5
			Молассовая формация позднего миоцена-плиоцена								
Пески тонкозернистые	2	3	15	20	30	23			7		72
Суглинки (алевриты)	—	—	1	5	20	46			28		8
			Морские верхнеплейстоценовые и голоценовые отложения								
Пески	5	30	15	45		3			2		26
Пески	12	25	11	45		1		3	1		33

Молассовая формация позднего миоцена-плиоцена широко распространена в пределах Северо-Сахалинского прогиба, выполняет большую часть Тымь-Поронайской и Сусунайской впадин, центральные части межгорных депрессий Восточно-Сахалинских гор и п-ова Шмидта, а также отдельные отрицательные структуры в Западно-Сахалинских горах. Это мощная (1000—4500 м) регрессивная толща практически недислоцированных преимущественно морских и прибрежно-морских, частично континентальных осадков. Последние наиболее широко представлены на западе Северо-Сахалинской равнины; в центральных и южных районах острова они появляются лишь в верхних горизонтах. Нижняя часть разреза формации среднего и южного Сахалина сложена неравномерно переслаивающимися глинистыми и песчанистыми алевролитами, аргиллитами, слабо уплотненными глинистыми песчаниками, аргиллитоподобными глинами, заключающими пласты и линзы гравелитов и конгломератов, крупные конкреции мергеля и известковистых песчаников диаметром до 2—3 м в Восточно-Сахалинских горах с горизонтами туфов среднего и кислого состава. Верхняя часть формации почти повсеместно (а в пределах Северо-Сахалинской равнины практически весь разрез) сложена песками с резко подчиненными прослоями глин, алевритов, слабо сцементированных песчаников, алевролитов, с линзами галечников, гравелитов, местами с редкими пластами лигнитов и бурых углей. Породы насыщены обуглившимся детритом и рассеянной галькой. Изредка встречаются прослои крепких ожелезненных и известковистых песчаников мощностью от 0,5 до 50 м. На отдельных участках (Углегорский, Александровский районы) развиты песчаные глины или слабо уплотненные алевролиты, среди которых иногда присутствуют маломощные прослои песков, слабо сцементированных глинистых песчаников и гравелитов, редкие пласты плотных известковистых песчаников.

Слабо сцементированные породы молассовой формации весьма неустойчивы к выветриванию и в поверхностной зоне легко разрушаются до рыхлого состояния. Аргиллиты и алевролиты в водонасыщенном состоянии легко размокают, превращаются в глинистую массу, оплывающую или оползающую по крутым склонам. Песчаники преимущественно глинистые (до 30% глинистой и алевритовой фракции) мелко-, реже среднезернистые, слабо сцементированные, характеризуются глыбовой или толстоплитчатой отдельностью. Редко встречаются плотные разности с известковым цементом. Пески, преобладающие в разрезе, полимиктовые, горизонтально- и косослоистые, различные по гранулометрическому составу (от пылеватых до крупных), часто с включениями гальки и гравия. Крупнозернистые и гравелистые неоднородные разности преобладают в основном на западе Северо-Сахалинского прогиба, где развиты преимущественно континентальные фации отложений. Тонко- и мелкозернистые однородные пески более характерны для разрезов восточного побережья. Последние, по данным изысканий вдоль трассы Оха — Катангли, отличаются небольшим количеством включений гравия и гальки и незначительным содержанием пылеватых и глинистых частиц (см. табл. 65). Плотность их 2,58—2,7 г/см^3; объемная масса 1,22—1,4 г/см^3; объемная масса скелета 1,74 г/см^3; пористость 16—37%; естественная влажность 7—20%. Угол естественного откоса тонкозернистых песков в сухом состоянии 35°, под водой — 24° (10 анализов). До глубины 1,5—2 м пески рыхлые, глубже плотные (коэффициент пористости 0,5). В водонасыщенном состоянии глинистые и пылеватые пески проявляют плывунные свойства. По данным единичных анализов плотность алевритов 2,62—2,64 г/см^3; объемная масса 1,22—1,26 г/см^3; объемная масса скелета 1,75—1,98 г/см^3; пористость 29—50%; естественная влажность 12—24%; верхний предел пластичности 28%; нижний — 18%; число пластичности 10. Аргиллитоподобные глины твердой или тугопластичной консистенции, непросадочные, ненабухающие.

Породы базальтовой формации плиоцена слагают плато Ламанон на западе острова. К этой же формации отнесены породы позднего миоцена-плиоцена, слагающие небольшие участки на м. Крильон, в пределах Тымь-Поронайской впадины и вдоль восточного побережья острова[1]. На м. Ламанон и в Поронайском районе в составе формации преобладают базальты, андезиты и андезито-базальты, заключающие отдельные горизонты лаво- и туфобрекчий и туфов. На м. Крильон и восточном побережье острова развиты в основном агломератовые и псефитовые туфы, туффиты, туфоконгломераты и туфогравелиты, среди которых присутствуют покровы андезитов, редкие прослои туфогенных песчаников. Характерно наличие даек андезитов, трахиандезитов, трахилипаритов. Мощность формации 250—300 м, на восточном побережье возрастает до 1000 м. Базальты, андезиты и андезито-базальты преимущественно плотные, реже пористые, мелко- и среднекристаллические, с гиалопилитовой и витрофировой структурами, иногда порфировидные, характеризуются столбчатой и глыбовой отдельностью. Прочность их колеблется в широких пределах (от $320 \cdot 10^5$ до $2000 \cdot 10^5$ Па) и зависит от состава, структуры, текстуры, вторичной трещиноватости минералов и степени свежести породы (табл. 66). Туфы слабо сцементированные или рыхловатые, неустойчивы к выветриванию.

Аллювиально-пролювиальные отложения плейстоцена слагают прибортовые части Тымь-Поронайской и Сусунайской низменностей и вы-

[1] В масштабе карты (рис. 54, а) не выражены.

Таблица 66

Свойства пород базальтовой формации плиоцена, развитых в пос. Орлово
(по Н. В. Овсянникову, 1971)

Породы	Структура	Плотность, г/см³	Объемная масса, г/см³	Пористость, %	Водопоглощение, %	Временное сопротивление сжатию, 10^6 Па	
						сухого образца	под водой
Базальт оливиновый	интерсертальная	2,86	2,8	2,1	2	2406	2360
То же	то же	2,85	2,77	2,8	0,3	1990	1970
»	»	2,87	2,84	1	0,3	1200	1250
»	призматически-зернистая	2,78	2,69	3,2	0,7	1790	1700
»	то же	2,85	2,7	5,2	0,4	1560	1500
»	»	2,84	2,31	18,7	4,4	960	860
»	порфировая (до 15% вкрапленников)	2,82	2,76	2,1	0,8	915	—
»	основная масса гиалопилитовая	2,82	2,21	21,6	3,5	400	316
Базальт авгитовый	порфировая (до 12% вкрапленников)	2,82	2,55	9,6	3,1	770	—
Базальт авгитовый	основная масса интерсертальная	2,84	2,58	9,1	9,3	820	—
Базальт авгитовый выветрелый		2,89	2,59	10,4	5,2	320	—
Андезито-базальт авгитовый	призматическая-зернистая	2,77	2,68	4,3	0,3	1120—1200	1100—1200
То же	диабазовая мелкозернистая	2,83	2,74	3,2	0,6	1220	—
»	то же	2,79	2,53	9,3	0,6	880	—
»	гиалопилитовая	2,78	2,74	1,4	0,4	1320	1270
»	то же	2,82	2,58	8,5	1,2	820	—
»	(6—8% стекла)	2,78	2,6	6,8	0,2	920—960	940
»	(12—16% стекла)	2,79	2,27—2,41	14—19	0,9—2,5	520—590	—
»	витрофировая (30% стекла)	2,76	2,7	2,1	0,4	810	—
»	то же	2,76	2,06	25,4	6,7	410	420

полняют межгорные депрессии Восточно-Сахалинских гор и п-ова Шмидта. Они представлены плохо отсортированными уплотненными галечниками с песчано-гравийным, дресвяным или суглинистым заполнителем (10—30%), со щебнем (10%) и валунами (10—15%), реже гравийниками с песчаным заполнителем и гравелистыми песками с галькой и щебнем, с линзовидными прослоями глин, суглинков и супесей мощностью от 0,5—1 до 10 м. Как правило, у бортов депрессий преобладают галечники с валунами и гравийники, которые ближе к центру сменяются более тонкими осадками — переслаиванием песков, супесей, галечников. Мощность отложений в Тымь-Поронайской депрессии изменяется от 5—10 м в юго-восточной части до 250 м у западного борта, в Сусунайской депрессии — от 5 до 100 м, в более мелких впадинах не превышает 20 м.

Галечники характеризуются преимущественно плотным сложением, местами сцементированы гидроокислами железа и превращены в конгломерат. По данным определения механического состава галечников Тымь-Поронайской депрессии (40 определений), среднее содержание в

них фракции 200—100 мм составляет 17%; 100—60 мм — 12; 60—40 мм — 10; 40—20 мм — 14; 20—10 мм — 15%; гравия содержится 19%, песка — 10%. Плотность галечников 2,75—2,87 г/см³ (10 определений); объемная масса 1,7—1,89 г/см³ (9 определений); износ в барабане Деваля 17—26%. Пески разно- и мелкозернистые, глинистые, с тонкими прослоями глин, обогащенных растительными остатками.

Озерно-аллювиальные отложения плейстоцена слагают центральные части Тымь-Поронайской и Сусунайской депрессий, фациально замещая аллювиально-пролювиальные образования краевых частей. К этому же комплексу отнесены погребенные аллювиально-морские отложения плейстоцена, вскрытые скважинами под озерно-аллювиальными осадками в прибрежных частях депрессий. Отложения представлены переслаивающимися суглинками, глинами, песками и супесями с примесью гравия и гальки, с отдельными прослоями погребенного торфа и гравийно-галечных отложений. Мощность толщи до 120 м. Суглинки и глины с поверхности обычно тугопластичные или полутвердые, на заболоченных участках под торфяниками — текучие или текучепластичные, непросадочные, пенабухающие. Показатели пластичности суглинков и глин соответственно следующие: предел текучести 31—48 и 39—57%; предел раскатывания 20—31 и 20—32%; число пластичности 10—17 и 18—25 (13 определений). Супеси слюдистые, тонкослоистые. Пески разнозернистые, обычно с тонкими прослойками суглинка.

Аллювиальные отложения среднего плейстоцена-голоцена развиты в долинах всех рек острова, но наибольшей мощности (65 м) они достигают в долине р. Тымь. На остальных реках преобладает мощность аллювия до 3—6 м. Отложения имеют характерное двучленное строение и подчиняются общим закономерностям изменения состава аллювия, свойственным горным территориям. Пойменная фация представлена преимущественно суглинками, реже глинами, супесями или песками. Мощность ее в горах 0,2—0,5 м, в пределах Северо-Сахалинской равнины — 1 м и в устьевых частях наиболее крупных рек — до 3 м. Некоторые значения физических свойств глинистых осадков пойменных фаций приведены в табл. 67. Пески пойменные преимущественно мелкие

Таблица 67

Физико-механические свойства аллювиальных отложений

	Суглинки	Глины	Супеси
Плотность, г/см³	2,67(40)	2,52—2,76(7)	2,55—2,73(3)
Объемная масса скелета, г/см³	1,23—1,24(2)	—	—
Пористость, %	25—48(5)		
Естественная влажность, %	11—39(12)	23—33(2)	
Предел текучести, %	40(95)	53(24)	25—37(6)
Предел раскатывания, %	28(95)	32(24)	19—31(6)
Число пластичности	12(95)	21(24)	5—7(6)
Коэффициент сжимаемости, 10^{-5} Па$^{-1}$	0,02—0,13(5)		
Модуль общей деформации, 10^5 Па	8—50(3)		
Угол внутреннего трения	25°2′—31°7′(4)		

Примечание. В скобках дано число определений.

с преобладанием фракции 0,25—0,05 мм в среднем 43%, со средним содержанием фракции 1—0,25 мм до 19%, гравия и мелкой гальки — 29%, пылеватых и глинистых частиц — 9%. Плотность песков 2,51—2,75 г/см³. Угол внутреннего трения 31°.

Русловой аллювий представлен преимущественно галечниками и гравийниками с песчаным, реже суглинистым заполнителем, с включениями валунов, иногда с прослоями крупнозернистых песков с линзами и прослоями суглинков, глин и супесей. По данным анализов гравийно-галечниковых отложений некоторых рек (Тымь, Сусуя, Бошняковка и др.), в их составе преобладают до 54% гравий и мелкая галька до 20 мм (47 определений), включения более крупной гальки составляют 12%, содержание песчаного заполнителя — 32% и пылеватых частиц — 2%. Плотность галечников 2,62—2,74 г/см³; износ в барабане Деваля 12—36% (10 определений).

В пределах Северо-Сахалинской равнины в составе руслового аллювия преобладают крупные и гравелистые пески с содержанием фракций крупнее 2 мм от 17 до 60%, фракций от 2 до 0,05 мм — от 8 до 33% и фракций менее 0,05 мм содержится 1—4% (единичные определения).

Морские и аллювиально-морские отложения позднего плейстоцена — голоцена наиболее широко развиты в пределах Северо-Сахалинской равнины, где ими сложена обширная прибрежная низменность. По составу это преимущественно пески с прослоями и линзами глин, суглинков, галечников и илов. Мощность их на западном побережье 25—50 м, на восточном — 10—20 м.

Пески кварцевые и кварцево-полевошпатовые, с галькой и гравием до 45%, различные по гранулометрическому составу. На восточном побережье, по данным изысканий вдоль трассы железной дороги, широко распространены гравелистые, крупные и средней крупности пески с незначительным содержанием пылеватой и глинистой фракций (см. табл. 65). На западе преобладают мелко- и среднезернистые пески, нередко пылеватые, слоистые, рыхлые (коэффициент пористости 0,8—1,1). На поверхности низкой террасы (2—3 м) они разносятся ветром и образуют дюны и гряды высотой до 25 м. В водонасыщенном состоянии мелкие и пылеватые пески проявляют плывунные свойства. Суглинки и глины вязкие, пластичные, иногда с тонкими линзами песка и с единичной галькой, образуют прослои мощностью 0,02—1 м. В морских отложениях голоцена часто отмечаются линзы илов мощностью 0,1—0,3 м. На остальном побережье Сахалина эти отложения развиты узкой полосой, слагают пляжи и аккумулятивные чехлы террас высотой 2—3 м, 5—7, 12—15 и 20—40 м. На абразионных участках они представлены обычно гравийно-галечным материалом, в составе которого резко преобладают фракции 1—5 мм в среднем 44% и 5—20 мм около 36%. Среднее содержание песчаного заполнителя 18% (32 определения). Плотность галечников 2,56—2,7 г/см³ (11 определений). Иногда наблюдается хаотическое нагромождение глыб, валунов с гравием, галькой и песком.

На аккумулятивных участках преобладают пески с прослоями галечников, гравийников, илов, суглинков, супесей и глин. Мощность отложений от 2 до 20 м. Пески кварцевые, горизонтально- и косослоистые, от мелкозернистых до гравелистых плотностью 2,1—3 г/см³, пористостью 33—52% (35 определений).

Илы морского генезиса имеют суглинистый и глинистый состав и характеризуются следующими свойствами.

Плотность, г/см³	2—3 (9)
Объемная масса, г/см³	0,98—2 (9)
Объемная масса скелета, г/см³	0,2—2 (9)
Влажность, %	20—53 (9)
Пористость, %	43—89 (9)
Коэффициент пористости	0,761—8,174 (9)
Предел текучести, %	28—50 (7)

Предел раскатывания, %	20—27 (7)
Число пластичности	8—24 (7)
Показатель консистенции	0,77—2 (7)
Потеря при прокаливании, %	4,1—73,4 (9)
Угол внутреннего трения	25°10′—33° (2)
Коэффициент внутреннего трения	0,47—0,65 (2)
Сцепление, 10^5 Па	0,07—0,18 (2)

Примечание. В скобках дано число определений.

Плотность суглинков 2,6—2,77 г/см³; предел текучести 38—43%; предел раскатывания 26—29%; число пластичности 9—15 (единичные определения).

Из отложений **склонового ряда четвертичного возраста** наиболее развиты коллювиальные и делювиально-коллювиальные образования горных склонов, представленные вверху суглинками, супесями с дресвой и щебнем, внизу щебнем, глыбами с суглинистым и супесчаным заполнителем, общей мощностью 0,5—31, реже до 6 м. На выравненных участках гор и пологих склонах развиты элювиальные, элювиально-делювиальные и делювиальные отложения глинистого состава: суглинки, глины и супеси с дресвой и щебнем. Некоторые физико-механические свойства приведены в табл. 68. В пределах Северо-Сахалинской

Таблица 68

Физико-механические свойства элювиальных, элювиально-делювиальных и делювиальных отложений

Показатели	Глины	Суглинки	Супеси
Плотность, г/см³	2,56—2,76(14)	2,54—2,74(16)	
Влажность, %		25,7—34,3(2)	
Пределы, %:			
текучести	44—87(14)	25—68(23)	22—24(3)
раскатывания	26—56(14)	12—51(23)	16—18(3)
Число пластичности	18—36(14)	9—17(23)	6—7(3)

Примечание. В скобках дано число определений.

равнины преимущественным распространением пользуются элювиально-делювиальные, элювиальные и делювиальные отложения, представленные неслоистыми песками с включениями гальки и гравия. Пески преимущественно мелкие характеризуются плотностью 2,63—2,7 г/см³ (5 определений) и пористостью 44—46%. Фракции более 1 мм содержится 8%; 1—0,5 мм — 28; 0,5—0,25 мм — 11; 0,25—0,1 мм — 41%; фракции менее 0,1 мм содержится 12%.

Органогенные образования голоцена развиты на заболоченных участках Тымь-Поронайской и Сусунайской депрессий и на западном побережье Северо-Сахалинской равнины. Представлены торфом мощностью 2—3 м с илами в основании. Торф осоково-сфагновый, плохо разложившийся, уплотненный, водонасыщенный, с естественной влажностью 200—500%, иногда достигает 1000%. Объемная масса торфа 0,97—1,07 г/см³; коэффициент пористости 4,9—8,2; угол внутреннего трения 25—33° (коэффициент внутреннего трения 0,41—0,65); сцепление $0{,}07 \cdot 10^5$—$0{,}18 \cdot 10^5$ Па. Торф сильно сжимаем (коэффициент сжимаемости $1{,}02 \cdot 10^{-5}$—$6{,}95 \cdot 10^{-5}$ Па$^{-1}$, модуль осадки 362—445 мм/м при давлении 1—10 Н/см²). Редко встречается разжиженный торф, слагающий участки топей и зыбунов. Объемная масса нла 1,7—2,01 г/см³;

коэффициент пористости 0,7—1,4; естественная влажность 26—53% (степень влажности 0,8); показатель консистенции 0,77—1,74; коэффициент сжимаемости под нагрузкой 7,5—10 Н/см^2 составляет $0{,}12 \cdot 10^{-5}$—$0{,}19 \cdot 10^{-5}$ Па$^{-1}$; модуль осадки 9—46 мм/м.

Гидрогеологические условия

Горные массивы Сахалина характеризуются преимущественным распространением свободных трещинных вод зоны выветривания, рассредоточенных по многочисленным бассейнам стока, тяготеющим к речным долинам. Глубина залегания уровня вод на водоразделах 50—100 м к долинам уменьшается до 10 м и менее. В связи с близостью участков водосбора к участкам разгрузки и большими уклонами поверхности трещинные воды очень динамичны и имеют резко переменный режим. Амплитуда колебания уровня в годовом цикле достигает на водоразделах 10—20 м. При длительном отсутствии дождей почти все водоразделы оказываются практически безводными.

Пористость обводненных пород небольшая (до 8—15%), поэтому их фильтрационные свойства определяются в основном степенью трещиноватости. Песчаники, конгломераты, туфы в приповерхностной зоне до глубины 10—15 м имеют коэффициенты фильтрации до 3—10 м/сут, аргиллиты и алевролиты — менее 0,1 м/сут. Максимальная водопроницаемость (10—55 м/сут) отмечается в зонах интенсивной тектонической трещиноватости. С глубиной водопроницаемость пород снижается до сотых и тысячных долей метра в сутки. Дебиты скважин в песчаниках 1—11 л/с при понижениях уровня на 9—50 м, в алевролитах — 0,01—4 л/с при понижениях на 15—90 м. Преобладающие дебиты родников не превышают 0,1 л/с. В меженные периоды наблюдается снижение дебитов в 5—30 раз. Зимой многие родники полностью прекращают функционировать.

Трещинно-карстовые и трещинно-жильные воды развиты в горах локально. Первые приурочены к линзам известняков, в которых интенсивная трещиноватость проявляется до глубины 100 м ниже местных базисов эрозии. В этой зоне известняки хорошо проницаемы (коэффициент фильтрации до 200 м/сут). Дебиты родников достигают 10 л/с; дебиты скважин 15 л/с при понижении уровня на 0,15 м. К зонам разломов приурочены родники дебитами более 1 л/с. Трещинные воды пресные, с минерализацией от 0,01—0,15 г/л на водоразделах до 0,1—0,5 г/л в долинах, по составу гидрокарбонатные и хлоридно-гидрокарбонатные смешанные по катионам или натриевые. Как правило, обладают выщелачивающей агрессивностью и корродирующими свойствами. Близ морских побережий они характеризуются минерализацией до 1 г/л при гидрокарбонатно-хлоридном натриевом составе и являются неагрессивными. Аномально-повышенная минерализация трещинных вод (более 1 г/л) отмечается на участках скрытой разгрузки в грунтовый горизонт напорных вод.

К центральной части Западно-Сахалинского синклинория (западный склон Западно-Сахалинских гор) приурочен Татарский адартезианский бассейн, в пределах которого наряду с трещинными и трещинно-жильными водами широко распространены артезианские воды. Из-за сильной тектонической нарушенности пород горизонты этих вод крайне не выдержаны по простиранию и очень тесно взаимосвязаны с трещинно-жильными водами. Они вскрыты скважинами на глубинах от нескольких десятков до 2000 м и более. Пьезометрические уровни устанавливаются близ поверхности земли либо превышают ее на 0,5—

12 м. Большинство скважин дает самоизлив. Дебиты скважин глубиной до 100—200 м достигают 1—4 л/с, в зонах разломов — 3—22 л/с, удельные дебиты составляют 0,01—0,3 л/с. Из глубоких горизонтов дебиты скважин не превышают 0,3 л/с, удельные дебиты — 0,001—0,1 л/с. В пределах угольных месторождений водопритоки в горные выработки, как правило, невелики и не оказывают существенного влияния на условия их эксплуатации.

Артезианские воды до глубины 800—1000 м преимущественно пресные гидрокарбонатные натриевые, иногда солоноватые и соленые с минерализацией до 31 г/л, хлоридные натриевые. В сводовых частях некоторых прибрежных антиклинальных складок, где проявляются восходящие потоки, соленые воды с минерализацией 17—19 г/л обнаруживаются на глубинах 45—300 м. Агрессивными свойствами эти воды не обладают.

В горных речных долинах развиты узкие грунтовые потоки аллювиальных вод мощностью 2—6 м, в устьях — до 20 м. Уровень вод обычно свободный, залегает на глубине от долей метра до 5 м. Редко наблюдаются чисто местные напоры величиной 3—10 м. Годовая амплитуда колебания уровня составляет 1—3 м. Водопроницаемость аллювиальных отложений, в связи с изменчивостью их состава, пестрая. Преобладают грубообломочные отложения с коэффициентами фильтрации от 1 до 30, реже до 100 м/сут. Устьевые части долин в основном слагают тонкие осадки с водопроницаемостью менее 1 м/сут. Дебиты скважин колеблются от 0,2 до 7 л/с при понижениях уровня на 0,4—8 м. Воды пресные с минерализацией до 0,1 г/л, в устьевых частях долин до 0,4 г/л, гидрокарбонатные или хлоридно-гидрокарбонатные со смешанным катионным составом. Обладают выщелачивающей агрессивностью.

Северо-Сахалинский прогиб представляет собой артезианский бассейн равнинного типа. Основными водосодержащими породами являются пески и песчаники, разделенные водоупорными глинистыми прослоями на многочисленные водоносные пласты мощностью от 10 до 200 м.

Воды четвертичных осадков и ближайших от поверхности горизонтов неогена носят грунтовой характер. Мощность горизонтов грунтовых вод редко превышает 50 м. Глубина залегания уровня в долинах рек от долей метра до 3 м, на морских и аллювиально-морских террасах — 2—6, редко достигает 12 м, на равнинных междуречьях — 10—20 м, в пределах гряд — до 40 м. Уровень вод, как правило, свободный, лишь иногда на речных и аллювиально-морских террасах наблюдаются местные напоры величиной 1—5 м. Амплитуда колебания уровня в основном не превышает 1 м, в пределах гряд достигает 2—3 м. В прибрежных участках отмечаются суточные колебания уровня величиной до 0,8 м, вызванные приливами и отливами. Дебиты скважин, вскрывающих грунтовые воды, 0,5—5 л/с; удельные дебиты — 0,05—2 л/с. Коэффициенты фильтрации водоносных пород варьируют от 0,01—0,5 м/сут в глинистых песках и супесях до 0,5—10 м/сут в мелко- и среднезернистых песках и 4—50, реже 100 м/сут в крупнозернистых и гравелистых песках. Грунтовые воды характеризуются слабой минерализацией, как правило, не превышающей 0,1 г/л. Состав их хлоридно-гидрокарбонатный или гидрокарбонатный смешанный по катионам. В прибрежной полосе развиты гидрокарбонатно-хлоридные натриевые воды с минерализацией до 2 г/л. Воды обладают выщелачивающей и общекислотной агрессивностью к бетону и корродирующими свойствами по отношению к металлу. Общая жесткость их не превышает 2 мг·экв/л.

К торфяникам приурочены болотные воды, залегающие в летний период на глубине 0,1—0,5 м. Весной и во время дождей они выходят на поверхность. Зимой торфяники промерзают до 1—2 м.

Артезианские воды вскрываются скважинами на глубинах от 100 м до нескольких тысяч метров при разведке нефтяных и газовых месторождений. Гидравлическая связь между нефтеносной и водоносной частями пластов часто отсутствует благодаря ограниченности нефте- и газоносных площадей разломами и, возможно, благодаря пониженной проницаемости пород в прикоитактовой зоне. В связи с этим депрессии, возникающие при эксплуатации нефтяных и газовых залежей, носят, как правило, локальный характер и не захватывают водоносную часть пласта. Пьезометрические уровни вод обычно устанавливаются вблизи поверхности земли; часто скважины дают самоизлив. Дебиты скважин на глубине больше первых сотен метров не превышают 10 л/с. Для более глубоких горизонтов они не превышают 0,5 л/с. Артезианские воды верхней части разреза пресные гидрокарбонатные натриевые. Мощность зоны пресных вод в синклинальных структурах достигает 2000 м, в антиклинальных снижается до 500 м и менее. Ниже развиты солоноватые и соленые преимущественно термальные воды хлоридного натриевого состава, обогащенные в северо-восточной части прогиба йодом, бромом и бором.

К кайнозойским депрессиям приурочены межгорные артезианские бассейны, наиболее крупными из которых являются Поронайский и Сусунайский. Грунтовые воды этих бассейнов образуют горизонт мощностью до 200 м, заключенный в гравийно-галечниковых и песчаных четвертичных отложениях. Горизонт обычно имеет глинистую кровлю мощностью до 6 м, на которой залегают обводненные торфяники. Уровень вод свободный или слабонапорный. Местные напоры достигают 2—10 м и носят сезонный характер, появляясь в периоды наиболее высокого стояния вод. Глубина залегания уровня вод в пределах речных долин и на морских террасах 0,5—3 м. На междуречьях она уменьшается от 20—40 м в прибортовых частях до 3—5 м в центральных. Амплитуда колебания уровня в течение года вблизи рек 1—2 м, с удалением от реки она возрастает до 5—8 м. В прибрежной полосе шириной 0,5 км воды испытывают влияние приливов и отливов моря, вызывающих колебание уровня подземных вод в пределах 0,8 м. Коэффициенты фильтрации галечников и крупнозернистых песков колеблются от 3 до 50 м/сут, в отдельных речных долинах — до 100 м/сут и более. Несколько худшей водопроницаемостью обладают мелко- и среднезернистые пески 0,4—10 м/сут и супеси менее 0,5 м/сут. Преобладают дебиты скважин 3—25 л/с и удельные дебиты 1—10 л/с. Воды пресные с минерализацией до 0,5 г/л, гидрокарбонатные со смешанным катионным составом, обладают выщелачивающей агрессивностью. Часто содержат в повышенных количествах железо до 30 мг/л. Близ морского побережья воды гидрокарбонатно-хлоридные натриевые с минерализацией до 2 г/л.

Артезианские воды межгорных бассейнов связаны с неогеновыми породами. Скважины вскрывают их на глубинах от нескольких десятков до сотен метров. Пьезометрический уровень обычно выше поверхности земли. Дебиты самоизливающихся скважин в областях напора плиоценовых горизонтов обычно 1—2 л/с, иногда достигают 8 л/с, удельные дебиты — 0,01—0,2 л/с. В нижележащих горизонтах дебиты сокращаются до 0,5 л/с, а удельные дебиты до 0,01 л/с. Воды от пресных до соленых с минерализацией до 22 г/л гидрокарбонатно-натриевые и хлоридно-натриевые. Агрессивными свойствами не обладают.

Современные геологические процессы и явления

Интенсивность восходящих неотектонических движений Сахалина и ливневый режим осадков обусловливают широкое развитие в регионе эрозионных процессов, связанных с деятельностью рек и временных водотоков. В горах преобладает глубинная речная эрозия, выражающаяся в образовании порожистых русел с водопадами высотой до 70 м, узких V-образных и щелевидных долин. В предгорьях и низменностях преобладает боковая эрозия. Средняя скорость разрушения подмываемых берегов в пределах Северо-Сахалинской равнины составляет 0,2—1 м в год. На юге эрозионная деятельность рек и временных водотоков более интенсивна. С деятельностью последних связано образование на крутых склонах эрозионных рытвин или борозд, а на предгорьях и равнинах — овражно-балочной сети. На безлесных пространствах скорость роста оврагов достигает 5 м год. В регионе широко развиты, особенно на участках новейших поднятий с резко расчлененным рельефом, гравитационные процессы: обвалы, осыпи, оползни. Первые развиты преимущественно в гольцовой зоне и на крутосклонных дацитовых куполах (плато Ламанон). Крупноглыбовые незакрепленные осыпи приурочены к участкам выходов массивных прочных пород. На породах с тонкоплитчатой или щебенчатой отдельностями образуются мелкообломочные осыпи, которые быстро закрепляются. Широкому развитию обвально-осыпных явлений способствуют процессы физического выветривания, активно проходящие на обнажениях, обрывах, гольцовых вершинах.

Оползни тяготеют к склонам долин и морскому побережью. Преобладают мелкие оползни-оплывины мощностью 1—2 м. Крупные смещения, захватывающие блоки пород мощностью в несколько десятков метров, развиты в пределах плато Ламанон, где покровы плиоценовых базальтов оползают по алевролитам. На слабо уплотненных породах неогена местами образуются оползни протяженностью 200—500 м и мощностью 30—50 м.

Для крутосклонных берегов южного и среднего Сахалина характерны процессы абразии: образование крутых уступов, ниш, скалистого бенча. В результате абразии активизируются денудационные процессы, разрушающие береговые уступы: обвалы, осыпи, оползни.

На песчаных морских побережьях проявляются эоловые процессы, приводящие к образованию береговых дюн. Особенно широко дюны развиты на западе Северо-Сахалинской равнины. Высота их 3—25 м при длине 10—90 м, а ширина полосы развития дюн достигает нескольких километров. Большинство дюн закреплено растительностью. Уничтожение растительности в результате лесозаготовок и других хозяйственных работ, а также при пожарах приводит к активизации эоловых процессов.

Для низменных аккумулятивных равнин характерно заболачивание с образованием обширных верховых болот площадью до нескольких сот километров глубиной 2—3 м. Под влиянием сезонного промерзания и протаивания на болотах происходит пучение и течение торфа с образованием бугристого и грядово-мочажинного микрорельефа. На западе Северо-Сахалинской равнины широко развиты термокарстовые впадины глубиной 0,5—1,5 м, занятые озерами. В Восточно-Сахалинских горах в известняках проявляется карст в виде небольших пещер и ниш. Поскольку мощность известняков небольшая и они ограниченно распространены, карстовые процессы узко локализованы.

Сейсмическая активность Сахалина достигает 6—7 баллов. Областями повышенной сейсмичности служат зоны глубинных разломов, к которым приурочено наибольшее количество эпицентров землетрясений.

Специфическим явлением на Сахалине является грязевой вулканизм (Южно-Сахалинский, Пугачевский, Восточный и Дагинский вулканы). Первые три являются вулканами периодических извержений и непрерывного выделения грязи, воды и газа в промежутках между извержениями. При вулканических взрывах камни, грязь и деревья выбрасываются на высоту более 100 м. Извержений Дагинского вулкана не наблюдалось. Там происходит постепенное выделение газа, воды и жидкой грязи из многочисленных источников и грифонов. Все вулканы приурочены к зонам тектонических нарушений. С их деятельностью связано накопление сопочной брекчии — пластичной глины (99%) с обломками аргиллитов, песчаников.

КУРИЛО-КАМЧАТСКО-ОЛЮТОРСКИЙ РЕГИОН

Регион охватывает п-ов Камчатку, Курильские острова и юго-восточную часть Корякского нагорья. Орографически характеризуется четко выраженной линейностью главных морфологических структур (Срединного и Восточного хребтов и прилегающих к ним Центрально-Камчатской и Западно-Камчатской равнин), ориентированных в меридиональном и северо-восточном направлениях. Горный рельеф занимает около 75% площади региона, представлен в основном денудационно-тектоническим среднегорьем с абсолютными отметками 500—800, реже до 1000 м при глубине расчленения 200—400 м. Вершины и гребни хребтов острые, реже сглаженные. Выделяются в рельефе отдельные скалистые выступы или массивы, сложенные наиболее стойкими к выветриванию кремнисто-вулканогенными и интрузивными породами. Высокогорный альпинотипный рельеф с узкими зубчатыми гребнями, изъеденными цирками и карами, типичен для южных частей Срединного и Восточного хребтов. Абсолютные высоты вершин здесь достигают 2000 м, а глубина эрозионного расчленения 400—800, реже 1600 м. В центральной части Срединного хребта, на восточной и южной Камчатке и Курильских островах развит типичный вулканический рельеф: крупные и мелкие вулканические конусы, купола, массивы (разрушенные стратовулканы), возвышенные лавовые плато. Преобладающие абсолютные отметки плато 500—1400 м, глубина расчленения — 100—600 м. Высота вулканов от 700 до 2000 м (на сопке Ключевской достигает 4750 м). Вулканы обычно имеют форму конусов или куполов с крутыми склонами, часто покрытыми неустойчивыми крупноглыбовыми осыпями и изрезанными баранкосами. На восточной Камчатке 28 действующих вулканов. В пределах Большой Курильской гряды насчитывается до 40 действующих вулканов. Многие мелкие островки являются одиночными действующими вулканами.

Равнинные участки, наиболее удобные для строительства, занимают около четверти территории региона. Северная часть Западно-Камчатской равнины, острова Шумшу и Шикотан характеризуются холмисто-увалистым рельефом с абсолютными отметками 50—300 м, осложненным останцовыми возвышенностями и отпрепарированными экструзивными куполами высотой до 900 м. Южная часть Западно-Камчатской равнины, обширная Центрально-Камчатская равнина, а также ряд межгорных впадин в Олюторском районе и на востоке Камчатки

имеют плоский, местами слабовсхолмленный аккумулятивный рельеф с абсолютными отметками от нуля у берегов моря до 200 м у подножий хребтов. Преобладающая глубина вреза эрозионной сети 10—60 м. В узкой полосе побережья местами сохранились плоские морские аккумулятивные террасы высотой 10—35 м, шириной до 15 км и узкие обрывки высоких (100—200 м) абразионно-аккумулятивных террас.

Береговая линия на западе Камчатки плавная, с рядом неглубоко вдающихся в море мысов. В южной части берега низкие, лагунные, в северной — преимущественно обрывистые высотой до 50 м. Восточный берег сильно изрезанный с далеко вдающимися в море гористыми полуостровами, часто высокими скалистыми обрывами высотой 500 м и более, с многочисленными мысами, обширными заливами и глубокими бухтами. Характерны низкие косы (кошки), протягивающиеся иногда на десятки километров.

Реки региона с крутыми уклонами (до 2% у крупных и до 6% у мелких рек), бурным течением (скорость до 5 м/с и более), многочисленными порогами и водопадами высотой до 15 м, иногда достигающими 100—140 м с прерывистыми, иногда полностью отсутствующими надпойменными террасами. Долины рек узкие, в среднем течении часто троговые и корытообразные, а в пределах вулканических районов местами ящикообразные, часто с обрывистыми скалистыми склонами высотой до 1000 м. Ширина долин крупных рек в горах 0,5, редко до 1,5 км, в пределах приморских равнин и в межгорных впадинах достигает 4—12 км. Прерывистые надпойменные террасы высотой от 2 до 35 м, шириной до 1 км. Для вулканических районов характерны так называемые «сухие» реки, сток в которых наблюдается в основном весной и в периоды ливневых дождей. Высота подъема уровня 1,5—2,5 м, реже до 4 м. Реки замерзают в октябре на севере региона и в январе на юге (Курильские острова). Продолжительность ледостава от 100 дней на юге до 200 дней на севере.

В пределах региона расположено более 30 000 озер. Вулкано-тектонические (кратерные) и лавово-подпрудные озера площадью 2—6 км², глубиной первые до 300 м, вторые до 15 м. На побережье встречаются лагунные озера площадью 0,8—4 км², глубиной до 25 м, в горах — моренно-подпрудные площадью до 20 км², глубиной до 10 м. На севере развиты многочисленные термокарстовые озера площадью не более 1 км², глубиной до 2—4 м.

Климат региона довольно суровый с длительной холодной зимой и коротким прохладным и дождливым летом. Среднегодовая температура воздуха изменяется от минус 4° на севере региона до нуля на юге Камчатки. На Курильских островах среднегодовая температура колеблется от +1,2° на северных островах до +5,5° на южных. Продолжительность зимы от 7 мес на севере до 3—4 мес на остальной территории. Наибольшее годовое количество осадков (1100—2600 мм) выпадает на восточном и юго-восточном побережьях Камчатки и на Курильских островах, наименьшее (330—350 мм) — в центре и на севере региона. Среднегодовая скорость ветра от 1,3 до 11 м/с (побережье). В связи с интенсивной циклонической деятельностью в приморских районах часты обложные дожди и продолжительные (по нескольку суток) снегопады. Мощность снегового покрова в горах достигает 3 м, на прибрежных равнинах и островах — до 1 м. Обилие снега и изменчивость погодных условий вызывают частый сход снежных лавин. Среднемесячная относительная влажность от 65—84% в зимний период до 76—97% в летний. Высокая влажность обусловливает небольшое испарение (до 156—401 мм в год). В целом регион относится

к категории избыточно увлажненных с годовым коэффициентом увлажнения 2,5—8,5. Суммарная солнечная радиация 60—80 ккал/см², в районе Петропавловска-Камчатского 94 ккал/см², на южных Курильских островах 100 ккал/см² в год. Глубина сезонного промерзания от 50—80 см под снежным покровом до 2—2,5 м на оголенной поверхности. Болота промерзают на глубину 0,3—1,5 м. Положение снеговой линии в регионе повышается с севера на юг от высоты 1020 до 2805 м на склонах северной экспозиции и от 1100 до 3100 м на склонах южной экспозиции. Многолетнемерзлые породы фиксируются на севере региона на высотах более 1000 м. Мощность их уменьшается с севера на юг от 150—200 (Олюторский район) до 10—30 м (р. Анапка). Температура их на глубине 5—10 м минус 2—2,8°. На прибрежных равнинах Камчатки многолетнемерзлые породы с температурой минус 0,1—0,5° достигают мощности 2—3,5, реже до 10 м.

Ландшафт региона разнообразен. На севере (Олюторский район) развиты горные ландшафты с тундровой и тундрово-таежной растительностью, в Срединном хребте — с тундровой, а на восточной Камчатке — с тундрово-таежной. На равнинах, примыкающих к холодному Охотскому морю, развита тундровая и лесотундровая растительность, а на Центрально-Камчатской равнине — лесная, на южных Курильских островах — широколиственные леса с вечнозелеными растениями.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Регион входит в состав Ниппонской геосинклинально-складчатой области и состоит из двух геотектонических структур. Юго-восточная часть Корякского нагорья (Олюторский горный район), центральная и восточная Камчатка, Курильские острова вместе с глубоководными котловинами и желобами прилегающей части Тихого океана относятся к Курило-Камчатско-Олюторской геосинклинально-складчатой системе, не завершившей свое развитие к настоящему времени. Территория к западу от нее входит в Западно-Камчатскую складчатую систему. Границей между двумя выделенными системами является Главный Камчатский глубинный разлом. Современный структурный план региона характеризуется четкой линейной зональностью главных тектонических элементов. Крупные, вытянутые на сотни километров в северо-восточном или меридиональном направлениях зоны горстовых поднятий, горст-антиклинории, антиклинории чередуются с протяженными прогибами и впадинами.

В пределах Курило-Камчатско-Олюторской геосинклинально-складчатой системы выделяются Восточно-Камчатский горст-антиклинорий, антиклинорий Восточных полуостровов и являющийся продолжением его на юге горст-антиклинорий Малой Курильской гряды. В их строении принимают участие интенсивно дислоцированные верхнемеловые-палеогеновые отложения (вулканогенно-кремнистая, песчано-глинистая сероцветная и карбонатно-кремнисто-вулканогенно-терригенная формации). В Восточно-Камчатском прогибе, разделяющем горст-антиклинории Восточно-Камчатский и Восточных полуостровов, развиты существенно терригенные отложения, сильно дислоцированные в основной части прогиба (туфогенно-песчано-глинистая флишоидная формация палеогена-раннего миоцена) и полого дислоцированные в окраинных его частях (песчано-глинистая флишоидная формация раннего-среднего миоцена). В северной части Центрально-Камчатского прогиба, в его

красных частях обнажаются относительно слабо дислоцированные отложения инверсионной стадии развития геосинклинали (туффито-диатомитовая формация позднего миоцена-плиоцена). В Центрально-Камчатской и Южно-Камчатской зонах горстовых поднятий, а также в пределах горст-антиклинория Большой Курильской гряды развиты мощные толщи вулканогенных пород, сформированные как в подводных условиях (туффито-андезитовая формация палеогена-среднего миоцена), так и в аэральных (континентально-вулканогенная молассовая формация позднего миоцена-плиоцена). Границы между тектоническими элементами Курило-Камчатско-Олюторской геосинклинальной системы в ряде случаев замаскированы сформировавшимися в четвертичное время Срединным и Восточным вулканическими поясами (группа вулканогенных формаций).

Западно-Камчатская складчатая система, отделенная от вышеописанной современной геосинклинали Главным Камчатским разломом, характеризуется разноплановым строением. Северная часть ее (Западно-Камчатская складчатая зона) состоит из чередования линейно-вытянутых в северо-восточном направлении антиклинальных поднятий и впадин, сформированных в инверсионную стадию развития Западно-Камчатской меловой геосинклинали и выполненных дислоцированными терригенными, иногда с примесью вулканогенного материала отложениями палеогена и миоцена (угленосная формация палеогена, туфогенно-терригенная формация миоцена). Лишь в отдельных небольших блоках выходят на поверхность интенсивно дислоцированные отложения основного этапа развития этой геосинклинали (песчано-глинистая сероцветная формация мелового возраста и вулканогенно-кремнистая формация позднего мела-палеогена). В южной части Западно-Камчатской системы (Срединный Камчатский выступ) на поверхность выведены интенсивно дислоцированные метаморфические и метаморфизованные породы (метаморфические формации протерозоя-архея и вулканогенно-кремнисто-терригенная формация палеозоя). Геосинклинальный комплекс здесь представлен филлитизированными сильно дислоцированными терригенными отложениями (песчано-глинистая сероцветная формация мелового возраста). Аналогом инверсионных осадков Западно-Камчатской складчатой зоны здесь являются относительно маломощные терригенные осадки раннего-среднего миоцена, выполняющие Западно-Камчатскую впадину (терригенная молассовая формация).

Плиоценовые структуры региона представлены небольшими наложенными прогибами, мульдами, межгорными впадинами, выполненными мелководно-морскими, лагунными и континентальными, иногда угленосными осадками (молассовая формация).

В унаследованных с дочетвертичного времени впадинах (Западно-Камчатская впадина, южная часть Центрально-Камчатского прогиба, грабены Южно-Камчатской зоны горстовых подпятий) развиты мощные (до 150 м) толщи четвертичных отложений разного генезиса и состава. Для Восточного вулканического пояса характерны обширные поля пирокластических отложений, мощность которых достигает 200 м. Локально в регионе развиты морские, ледниковые, флювиогляциальные, элювиально-делювиальные осадки. Их мощность обычно не превышает первых десятков метров. Лишь на восточном побережье мощность морских отложений достигает 50—80 м.

Метаморфические породы архея—протерозоя слагают ядро антиклинальной структуры Срединного Камчатского выступа (рис. 58). В нижних горизонтах формации преобладают биотитовые и амфиболовые гнейсы, стратиграфически выше залегают кристалличе-

ские сланцы; подчиненно присутствуют мигматиты и амфиболиты. Все разности в разрезе чередуются, образуя пласты мощностью от 1 до 100 м. Общая мощность формации 5000—8000 м. Отложения смяты в крутые сжатые складки преимущественно меридионального простирания, осложненные мелкой складчатостью различного характера с углами падения на крыльях до 70—90°. Отмечаются также продольные и поперечные нарушения сбросового типа и зоны смятия. Породы разбиты трещинами различных направлений в основном до глубины 50—70 м и в зонах тектонических разломов. Мощность сильновыветрелой зоны с резко пониженной крепостью пород и наиболее интенсивной трещиноватостью составляет 15—20 м. Ширина трещин в обнажениях гнейсов от 1 мм до 5 см, расстояние между ними 0,1—1,5 м, для сланцев — от волосных до 5 см при расстоянии 0,1—3 м. Отдельные трещины достигают ширины 1 м и обычно выполнены кварцем. В целом породы довольно устойчивы к процессам выветривания и слагают альпинотипные формы рельефа.

Гнейсы мелко- и среднекристаллические массивные, реже сланцеватые, в них развита послойная тонкоплитчатая и глыбовая, призматическая или грубоплитчатая отдельности. Кристаллические сланцы обычно отличаются от гнейсов более тонкой и совершенной сланцевой текстурой, для них характерна тонкоплитчатая отдельность. Мигматиты массивные, очень крепкие, густо пронизаны тонкими кварц-полевошпатовыми инъекциями.

Вулканогенно-кремнисто-терригенная формация палеозоя слагает краевые части Срединного Камчатского выступа и примыкающий к нему с востока Ганальский выступ домеловых пород. Представлена серией песчано-глинистых и вулканогенно-осадочных образований, подвергшихся региональному метаморфизму в условиях зеленосланцевой фации (Кириков, 1968). Разрез преимущественно состоит из переслаивающихся между собой филлитов, филлитизированных алевролитов, слюдяных метапесчаников, углистых и кристаллических сланцев, реже микрогнейсов и измененных рассланцованных эффузивов, наиболее широко распространенных в Ганальском выступе. Мощность отдельных пластов колеблется от нескольких метров до 50 м. Общая мощность формации около 3000 м. Породы сильно дислоцированы. Складки меридионального и северо-западного простирания с размахом крыльев от десятков метров до нескольких километров. Для сводовых частей складок характерны многочисленные интрузии, вблизи которых в зонах мощностью до нескольких сотен метров породы ороговикованы и перекристаллизованы. Крылья складок осложнены многочисленными сбросами и надвигами, к которым приурочены зоны дробления шириной от 40 до 100 м. Породы в зоне выветривания мощностью 80—100 м разбиты преимущественно крутыми трещинами (70—90°). Ширина трещин в верхней, наиболее выветрелой зоне мощностью до 20—40 м достигает 2—3 см, с глубиной уменьшается до волосных (данные Гидропроекта). Наибольшая глубина проникновения трещин для филлитов, наименьшая — для кварцевых альбитофиров. В зонах дробления породы разбиты трещинами на обломки, сцементированные глинистым цементом. Филлиты и филлитизированные сланцы сланцеватой и плойчатой текстуры, тонкоплитчатые, крепкие.

Песчано-глинистая сероцветная формация мелового возраста широкой полосой (до 25 км) окаймляет с запада и юга Срединный Камчатский выступ, обнажается также на севере Центрально-Камчатской зоны горстовых поднятий (Лесновское поднятие). Представлена песчаниками, аргиллитами и алевролитами (места-

ми филлитизированными), глинистыми филлитовидными и аспидными сланцами (в основании формации). Все разности переслаиваются между собой (мощность слоев от 5 до 100 м) или образуют пачки мощностью 300—400 м. В целом в нижней и верхней частях разреза аргиллиты и алевролиты преобладают над песчаниками. Для пород характерно проявление процессов динамометаморфизма, выраженное в рассланцевании пород, их плойчатости и гофрировке с почти полной перекристаллизацией цемента. Породы смяты в складки северо-восточного (Лесновское поднятие) и субмеридионального простирания (Срединный выступ), осложненные на крыльях вторичными более мелкими складками с углами падения пород на крыльях 60—80°. Характерны разрывные нарушения, сопровождающиеся зонами тектонических брекчий или кварцево-карбонатных пород мощностью до 250 м и протяженностью до 15—20 км. Породы в тектонических зонах сильно деформированы, нередко отмечается кливаж. В выветрелой зоне мощностью до 80—100 м породы интенсивно трещиноваты. Ширина трещин в обнажениях от 2—3 мм для глинистых сланцев и аргиллитов до 1—1,5 см для песчаников при расстоянии между ними 0,2—0,5 м. Песчаники мелкозернистые, полимиктовые, реже аркозовые с глинистым, кремнисто-серицит-хлоритовым или кремнистым цементом, массивные или с плитчатой отдельностью, крепкие. Алевролиты с тонкоплитчатой отдельностью и по своим свойствам близки к песчаникам.

Вулканогенно-кремнистая формация позднего мела—палеогена широко развита в ядре Восточно-Камчатского горст-антиклинория. Разобщенные блоки этой формации выведены на поверхность также в пределах Центрально-Камчатской зоны горстовых поднятий, антиклинориев Восточных полуостровов и горст-антиклинория Курильской гряды. В строении формации основную роль играют эффузивы различного состава и их туфы, порфириты, яшмовидные породы, кремнистые, кремнисто-глинистые сланцы. В подчинении находятся тела спилитов и диабазов мощностью 10—30 м, прослои и пласты туффитов, туфогенных песчаников и туфоаргиллитов мощностью до 30 м. Соотношение разностей позволяет выделить в разрезе эффузивно-туфогенные, кремнисто-туфогенные, кремнистые или вулканогенные толщи, причем характер переслаивания этих толщ между собой и доля их в объеме формации весьма изменчивы по площади. Так, кремнистые толщи преобладают в разрезе над эффузивно-туфогенными в северной части Центрально-Камчатской зоны горстовых поднятий, в южной ее части доминирует кремнисто-туфовая толща, а в разрезе горст-антиклинориев Восточно-Камчатского и Восточных полуостровов — существенно вулканогенная толща. Отмечается чередование кремнистых толщ и эффузивно-пирокластических, мощность которых меняется от 300 до 1600 м. Толщи имеют сложное строение: однородные пласты тех или иных разностей мощностью до нескольких десятков метров могут чередоваться с пластами, состоящими из множества мелких слоев двух-трех разностей, мощностью от нескольких сантиметров до первых метров. Общая мощность формации 2000—3400 м. Породы сильно дислоцированы, собраны в узкие асимметричные, часто опрокинутые складки северо-восточного, реже северо-западного простирания, углы падения крыльев 50—80°, часто пласты поставлены на голову, отмечаются зоны с волнисто-слоистыми «давлеными» текстурами. Структуры сильно осложнены сбросами и надвигами. В зоне выветривания мощностью 60—100 м часто отмечается сильная трещиноватость, ширина трещин от 1—2 мм до 5 см. В районе Петропавловска-Камчатского (по данным бурения) на 1 м керна приходится 18—20 трещин.

в кремнистых сланцах, 40—50 трещин в туфах и 10—15 трещин в порфиритах. С поверхности до глубины 10 м породы часто разрушены на остроугольную и таблитчатую щебенку и обломки. Все породы устойчивы к процессам выветривания и образуют в рельефе столбовидные и пикообразные остроугольные останцы.

Кремнистые породы стекловатые, яшмовидные, состоят преимущественно из агрегатов (80—90%) криптокристаллического кварца и халцедона, тонкосланцеватые, очень крепкие, их плотность 2,87 г/см³. Объемная масса в районе Петропавловска-Камчатского 2,67 г/см³ (по единичным определениям). Эффузивы преимущественно основного и среднего состава, порфировой структуры, массивные, очень крепкие. В выветрелой зоне для них характерна глыбовая (до 3 м), шаровая и столбчатая отдельности, последняя образует столбы высотой 1—10 м, шириной 0,5—0,7 м. Туфы лито- и витрокластические, крепкие, коэффициент размягчения 0,6 (по единичным определениям), морозостойкие. Некоторые показатели физико-механических свойств эффузивных и туфовых разностей (данные Камчатского территориального геологического управления) приведены в табл. 69. Определение прочности для ан-

Таблица 69

Физико-механические свойства эффузивных и туфовых разностей

Показатели	Породы			
	диабаз (9 определений)	андезит сильнотрещиноватый (35 определений)	туф окремненный (1 определение)	туфолава слаботрещиноватая (2 определения)
	район Петропавловска Камчатского			п-ов Камчатка
Плотность, г/см³	2,83—3,22	2,56—2,85	2,31	
Объемная масса, г/см³	2,83—3,03	2,2—2,7	2,63	2,4—2,69
Водопоглощение, %	до 0,22	2,5—2,6	5	0,65—2,04
Пористость, %	до 5,9	18—27	12	1,9—7,7
Временное сопротивление сжатию, 10^6 Па:				
сухого образца	600—1310	600—900	1150	800—1880
водонасыщенного	600—1150	—	603	—

дезитов проводилось на выветрелых образцах и поэтому их прочность уступает туфам.

Песчано-глинистая сероцветная формация мел—палеогенового возраста развита в пределах Восточно-Камчатского горст-антиклинория. В нижней части формации мощностью 1000—1200 м преобладают (до 50% объема) песчаники (пласты мощностью 40—80 м), разделенные маломощными (первые метры) слоями глинистых рассланцованных алевролитов. Верхняя часть мощностью 1100—1300 м характеризуется переслаиванием аргиллитов, алевролитов и песчаников при преобладании первых двух разностей, мощность пластов 1—10 м. Местами пласты песчаников мощностью 10—40 м чередуются с пластами тонкого (5—15 см) переслаивания аргиллитов, алевролитов и песчаников. Общая мощность формации 1600—3100 м. Отложения смяты в преимущественно узкие складки северо-восточного простирания с углами падения на крыльях 50—60°. В зоне выветривания мощностью до 100 м породы разбиты трещинами, ориентированными под различными углами к слоистости: для песчаников характерны секущие трещины, для аргиллитов — трещины по напластованию. Ши-

рина трещин в обнажениях от 1—2 мм до 2—3 см, увеличивается в зонах тектонических нарушений до 30—50 см. Песчаники полимиктовые, мелко- и среднезернистые, массивные, иногда рассланцованные, крепкие, плотность 2,66 г/см³ (35 определений). Аргиллиты крепкие, плотность 2,63 г/см³ (20 определений).

Карбонатно-кремнисто-вулканогенно-терригенная формация мел-палеогенового возраста слагает восточное крыло Восточно-Камчатского горст-антиклинория. Формация сложена в основном толщей кремнистых аргиллитов, среди которых в подчиненном количестве присутствуют пласты туфов, туффитов, пластовые залежи спилитов и диабазов мощностью 10—50 м. Мощность слоев кремнистых аргиллитов 10—20 м. Характерно присутствие в разрезе кремнисто-карбонатных пород или пелитоморфных известняков. Первые локально образуют с кремнистыми аргиллитами пачки переслаивания с мощностью слоев от нескольких сантиметров до 10 м, вторые содержатся вместе с конкрециями и четко видными прослоями мергелей в отдельных частях разреза среди аргиллитов в виде многочисленных слоев мощностью 0,2—2,5 м, составляя до 10% объема формации. Общая мощность формации 2000—3000 м. Породы смяты в узкие крутые складки северо-восточного и северо-западного простирания с углами падения 50—80°, нередко слои поставлены на голову. Характерны многочисленные разломы. В зоне выветривания мощностью 80—100 м породы интенсивно трещиноваты. Ширина трещин от волосных до 5 см. В зонах разломов породы часто превращены в глинистую массу с мелкими обломками. Аргиллиты слоистые, сланцеватые, различной крепости. В бассейне р. Вахиль плотность их составляет 2,66 г/см³; объемная масса 2,56 г/см³; пористость 16%; влажность 0,2% (единичные определения). Кремнисто-карбонатные породы криптокристаллической и мелкозернистой структуры, массивные, крепкие. Прочность породы $350 \cdot 10^5$—$1600 \cdot 10^5$ Па (единичные определения). Плотность 2,62—2,79 г/см³; объемная масса 2,2—2,58 г/см³; общая пористость 3—17%; влажность 0,1—0,4%; водопоглощение 0,48—22%; коэффициент размягчаемости 0,67—1,65 (36 определений).

Угленосная формация палеогенового возраста развита в западной части региона, где слагает ядра антиклинальных структур в южной части Западно-Камчатской складчатой зоны (Тигильское поднятие). В разрезе преобладают песчаники, алевролиты, аргиллиты, в подчиненном количестве содержатся конгломераты, гравелиты, каменный уголь. В среднем (Григоренко, 1968) содержание песчаников составляет около 50%, алевролитов и глинистых пород—по 20—22%, конгломератов — 8%, углистых и мергелистых прослоев — 1—2% объема формации. Переслаивание основных литологических разностей часто носит ритмичный характер. Мощность ритмов колеблется от 20 до 150 м при мощности отдельных пластов от нескольких метров до десятков метров. В разрезе формации выделяются три литологических комплекса. В составе нижнего комплекса существенную роль играют песчаники и конгломераты, для среднего характерно наличие различных по мощности прослоев и пластов углей (иногда в толще мощностью 500 м насчитывается до 19 угольных пластов мощностью от 2 см до 2 м), в верхнем комплексе преобладают аргиллиты и алевролиты, часто содержащие мергелистые конкреции и прослои (5—10 см) бентонитовых глин. Общая мощность формации достигает 5000 м. Породы дислоцированы в линейные и кулисообразные складки северо-восточного простирания, углы падения на крыльях от 20 до 60°, характерны надвиги и сбросы. В зоне выветривания мощностью 100—150 м породы трещи-

новаты, преобладают закрытые трещины преимущественно северо-восточного простирания. Наибольшая трещиноватость наблюдается в сводовых частях структур, в песчаниках, удельная плотность трещин в которых в 1,5—2 раза выше, чем в аргиллитах (Берсон, 1960). Наименьшая трещиноватость на крыльях складок. Профиль трещиноватости, построенный по данным линейной густоты трещин, показал, что в массивных песчаниках на 1 м приходится 3—10 трещин, в плитчатых песчаниках — 10—29, в алевролитах — 5—20, в аргиллитах — 9—25 трещин. Породы слабо устойчивы к выветриванию. Песчаники кварцево-полевошпатовые мелкозернистые, массивные или плитчатые. Выделяются плотно сцементированные крепкие разности и менее крепкие. Объемная масса песчаников 1,9—2,34 г/см^3 (50 определений). Алевролиты тонкослоистые, при выветривании плитчатые и листоватые, объемная масса 1,9—2,15 г/см^3 (13 определений). Аргиллиты скорлуповатые, комковатые и листоватые.

Флишоидная формация олигоцен-раннемиоценового возраста широко развита в пределах Восточно-Камчатского и локально по периферии Центрально-Камчатского прогиба. В составе ее преобладают переслаивающиеся между собой песчаники, алевролиты, образующие толщи и пачки различной мощности (от 50 до 700 м) со слабо выраженной ритмичностью флишоидного типа (мощность прослоев от 2 см до 1 м); в подчиненном количестве находятся туффиты, туфы, гравелиты, конгломераты. Флишоидные пачки неравномерно сменяются по разрезу и площади пачками мощностью до 400 м грубого переслаивания (через 20—80 м) песчаников и аргиллитов, иногда содержащих пласты гравелитов мощностью до 60 м, туфов и туффитов мощностью до 10—20 м. В целом для формации характерны невысокая степень сортировки материала, частое выклинивание слоев, присутствие в основном в нижней части разреза пластовых тел порфиритов мощностью 3—12 м. Общая мощность формации до 6000 м. Породы смяты в крутые узкие, иногда гофрированные складки с углами падения на крыльях от 40 до 80°, интенсивно разбиты крутопадающими надвигами и сбросами, мощность зон перетирания и брекчирования достигает 1000 м. Для Центрально-Камчатского прогиба более характерны крупные брахискладки с углами падения на крыльях от 20 до 60° вблизи тектонических нарушений. Породы разбиты трещинами северо-западного и северо-восточного простирания, часто крутопадающими или совпадающими со слоистостью. В обнажениях на 1 м^2 породы приходится 3—20 м трещин шириной от волосных до нескольких сантиметров. В зонах брекчирования породы перетерты до бесструктурной глинисто-щебенчатой массы. Песчаники полимиктовые от мелко- до крупнозернистых (содержание крупнозернистой фракции увеличивается вверх по разрезу), массивные, в зоне выветривания отмечается плитчатая и глыбовая отдельности, размеры блоков до 0,3 м. Порода крепкая, объемной массой 2,3—2,67 г/см^3, пористостью 3,8—14%; временное сопротивление сжатию в воздушно-сухом состоянии $1000 \cdot 10^5$—$1620 \cdot 10^5$ Па, в водонасыщенном — $800 \cdot 10^5$—$1300 \cdot 10^5$ Па (по единичным определениям). В приповерхностной сильновыветрелой зоне временное сопротивление сжатию уменьшается до $200 \cdot 10^5$ Па. Аргиллиты часто содержат до 30—40% обломков вулканического стекла. Мелкооскольчатые и сланцеватые аргиллиты характеризуются объемной массой 2,3—2,75 г/см^3, временным сопротивлением сжатию $800 \cdot 10^5$—$1700 \cdot 10^5$ Па; сильновыветрелые разности характеризуются объемной массой 2—2,3 г/см^3, временное сопротивление сжатию снижается до $200 \cdot 10^5$ Па. Изучение плотности пород, проводившееся в южной части Восточно-

Камчатского прогиба (Супруненко, 1971), показало, что плотность отдельных разностей уменьшается вверх по разрезу (табл. 70).

Таблица 70

Плотность пород флишоидной формации

Местоположение	Породы					
	песчаник	алевролит	аргиллит	гравелит	конгломерат	туф
Нижняя часть формации	2,64(65)	2,58(38)	2,58(840)	2,77(3)	2,79(3)	2,74(8)
Средняя	2,61(1234)	2,52(208)	2,56(1)	—	—	2,65(1)
Верхняя	2,45(3596)	2,35(220)	2,33(270)	2,49(11)	—	2,08(3)

Примечание. В скобках дано количество определений.

Туффито-андезитовая формация олигоцен—среднемиоценового возраста занимает значительные площади в пределах Центрально-Камчатской и Южно-Камчатской зон горстовых поднятий, а также горст-антиклинория Большой Курильской гряды. В целом формация характеризуется грубым переслаиванием эффузивов разного состава с туфами, в подчиненном количестве содержатся туфогенно-осадочные породы. В разрезе можно выделить три комплекса пород. Нижний туфогенно-осадочный состоит в основном из переслаивания туфопесчаников, туффитов, реже туфов с мощностью слоев 5—20 м, локально встречаются аргиллиты и алевролиты, напоминающие плотные глинистые сланцы. В основании комплекса часто залегают пласты туфоконгломератов мощностью до 30—70 м. Общая мощность комплекса 1000—1300 м. Выше по разрезу увеличивается количество туфов и эффузивных разностей, и средняя часть разреза — эффузивно-пирокластический комплекс, мощностью 1300—1500 м состоит главным образом из переслаивания пластов и пачек туфов мощностью от 50 до 400 м, туффитов мощностью 50—100 м с потоками андезитов и базальтов мощностью 10—60 м при общем преобладании туфогенных разностей. Верхняя существенно эффузивная часть разреза формации мощностью 1000—1100 м представлена преимущественно чередующимися потоками и лавами андезитового или андезито-базальтового состава мощностью до 300 м и их туфами, дацитами и их туфами мощностью 10—50 м, локально встречаются пласты игнимбритов мощностью 50—200 м. Приведенный разрез формации не выдержан по площади и меняется на сравнительно близких участках. Общая мощность формации 2500—3500 м. Породы смяты в широкие складки юго-восточного и северо-западного простирания с углами падения на крыльях 20—40°, вблизи тектонических разломов — до 70—80°. Сильно развита разрывная тектоника. Протяженность разломов достигает 20—35 км, амплитуда смещения 300—1000 м. В зонах разломов породы сильно раздроблены до отдельных глыб и обломков или изменены до плотной глинистой массы. Характерно широкое распространение зон гидротермально-измененных пород, представленных кварцитами и пропиллитами. В зоне выветривания мощностью 100—150 м породы трещиноваты. В обнажениях эффузивные разности часто разбиты системой послойных и секущих трещин северо-восточного, юго-западного и северо-западного направлений с углом падения 45—80°. В туфах и туфобрекчиях преобладают пологопадающие трещины. Наиболее силь-

ная трещиноватость отмечается до глубины 30—40 м, где коэффициент трещиноватости от 3 до 10 (данные Камчатского территориального геологического управления), а монолитных пород всего 10—15% общего объема. Наиболее устойчивы к процессам выветривания эффузивные разности, и поэтому в центральной части региона, где они преобладают, развиты более резкие формы рельефа, чем в районах с преобладанием пирокластических разностей.

Эффузивные породы преимущественно основного и среднего состава, порфировой структуры (порфировидные выделения размером до 0,05—0,25 см составляют 30—40%). Физико-механические свойства их, изученные на локальных участках, приведены в табл. 71. Туфы кри-

Таблица 71

Физико-механические свойства пород туффито-андезитовой формации
(данные Камчатского территориального геологического управления)

Породы	Место взятия образцов	Количество образцов	Плотность, г/см³	Объемная масса, г/см³	Пористость, %	Водопоглощение, %	Временное сопротивление сжатию, 10^5 Па		
							в воздушно-сухом состоянии	при насыщении водой	после 25-кратного замораживания
Андезит	юго-западное побережье Авачинской губы	5	2,58—2,66	2,39—2,53	4—10	1,6—3,9	607—1056	318—860	178—573
Базальт	то же	2	2,62—2,75	2,39—2,74	0,9—9	0,1—5	462—1425	335—1167	122—1004
Порфирит андезитовый	юго-восточное побережье Камчатки	—	2,98—3,08	2,66	1,07—1,55	0,4—0,61	1250—1300	—	—
Андезит	юго-западное побережье Камчатки	7	2,67—2,74	2,21—2,7	11,3	2,6—8,4	454—874	—	—

сталлокластические и литокристаллокластические, мелкообломочные, цемент часто состоит из стекла и пеплового материала.

Туфогенно-терригенная формация миоценового возраста развита в пределах Западно-Камчатской складчатой зоны на крыльях линейных антиклинальных структур Тигильского поднятия. Основную часть разреза слагают туфогенные аргиллиты, алевролиты и туфопесчаники, переслаивающиеся между собой в самых различных сочетаниях. Мощность пластов от нескольких метров до 100 м, чаще 20—30 м. В подчиненном количестве содержатся опоки, туффиты, туфы, диатомиты, локально встречаются конгломераты. Опоки и диатомиты наиболее характерны для средней и верхней частей разреза (30—40%), где они залегают слоями мощностью до 4—5 м, встречаются отдельные пласты диатомитов мощностью 30—80 м. Туффиты и туфы мощностью слоев 0,5—10 см более характерны для верхней части разреза, где они обычно перемежаются с песчаниками, и составляют местами до 40% разреза. Локально в разрезе отмечаются прослои (до 3,5 м) бентонитовых глин, плотных и жирных на ощупь. Общая мощность формации 3000—5000 м. Породы дислоцированы в крупные складки северо-восточного простирания с углами падения от 5 до 30° и изредка осложнены разрывными нарушениями. В зоне выветривания мощностью 50—

100 м породы трещиноваты. Для песчаников характерны трещины секущие, по напластованию пород и крутопадающие. Ширина их от нескольких миллиметров до 1—3 см при расстоянии между ними 5—20 см. Менее трещиноваты аргиллиты и алевролиты. В них развиты преимущественно тонкие, близкие к волосным трещины, совпадающие с плоскостями напластования. В обнажениях породы от удара молотком обычно разбиваются на остроугольную и плитчатую щебенку. Породы в целом легко поддаются выветриванию.

Флишоидная формация ранне-среднемиоценового возраста развита в восточной части региона, где слагает небольшие мульдообразные наложенные впадины в пределах Восточно-Камчатского и Центрально-Камчатского прогибов. Для формации характерно ритмичное переслаивание песчаников, алевролитов, аргиллитов, причем часто без резких переходов. Мощность ритма 0,5—4 м, мощность прослоев в ритме 0,02—2 м при преобладании обычно песчаных разностей. Локально состав ритма может быть более грубозернистый (песчаник—гравелит—конгломерат) при мощности ритма 5—15 м. Мощность ритмичных пачек до 800 м. В основании разреза и в средней части наряду с пачками флишоидного переслаивания встречаются пласты песчаников или конгломератов мощностью 50—80 м. В отдельных районах флишоидность менее четко выражена: юго-восточный борт Центрально-Камчатского прогиба. Здесь кроме вышеперечисленных разностей встречаются прослои туфов и туффитов. Породы смяты в широкие складки северо-восточного и северо-западного простирания с углами падения пластов 15—20°. В зоне выветривания мощностью до 100 м в породах отмечаются трещины северо-западной, северо-восточной и юго-восточной ориентировки. Для песчаников характерны крутопадающие трещины шириной от волосных до 1—2 см, расстояние между ними 5—20 см, в аргиллитах и алевролитах трещины совпадают с плоскостями напластования, сеть тонких разноориентированных трещин свойственна гравелитам. От вышеописанной флишоидной формации олигоцен-раннемиоценового возраста породы отличаются значительно меньшей степенью литификации. Средняя плотность их 1,8—2,29 г/см^3 (табл. 72). Породы обычно мягкие, часто менее устойчивы по отношению к выветриванию. Слагают куэстовые формы рельефа.

Таблица 72

Плотность пород флишоидной формации

(по данным О. И. Супруненко, 1971)

Положение в разрезе	Кроноцкий район	Плотность пород, г/см^3				
		песчаник	алевролит	аргиллит	гравелит	туф пепловый
Нижняя часть	западная часть . . .	2,29(79)	2,14(69)	2,13(54)	2,43(17)	1,97(18)
	восточная часть . . .	2,21(163)	2,26(13)	2,17(164)	2,45(2)	2(2)
Верхняя часть	западная часть . . .	2,09(11)	1,93(12)	1,8(10)	—	1,74(3)
	восточная часть . . .	2,1(144)	2,2(7)	1,99(68)	—	1,88(1)

Примечание. В скобках дано количество определений.

Песчаники полимиктовые, мелко- и среднезернистые, цемент глинистый, хлорито-глинистый, составляет 10—40% объема породы, пористость 25—39%. В приповерхностной зоне выветрелые разности при ударе молотком раскалываются на острую щебенку. Алевролиты по

крепости близки к песчаникам. Аргиллиты плотные, слоистые, и менее плотные со скорлуповатой отдельностью, часто катаклазированы, отмечаются пласты с перекрученными слоями.

Терригенная молассовая формация миоценового возраста слагает Западно-Камчатскую впадину, где выходит на поверхность лишь в узкой полосе (7—15 км) Срединного Камчатского выступа, и северные части Центрально- и Восточно-Камчатского прогибов. Осиовиую часть разреза составляют конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты, гравелиты, реже встречаются маломощные прослои туфов, углисто-глинистых сланцев и бурых углей. Конгломераты и гравелиты образуют слои мощностью 0,2—10 м, а в основании толщи до 100 м, мощность пластов аргиллитов, алевролитов и песчаников 2—15, редко достигает 50—100 м, локально отмечаются пачки мощностью до 200 м более тонкого переслаивания (0,2—0,5 м) вышсуказанных разностей. Общая мощность от 350 до 3000 м. Породы смяты в простые линейные, реже брахиформные складки с углами падения на крыльях 5—25°, но в непосредственной близости от зон разрывных нарушений у них крутое, вплоть до вертикального, залегание.

Песчаники полимиктовые, иногда туфогенные с глинистым или карбонатным цементом, массивные или тонкослоистые, в зоне выветривания разрушаются до песка. Аргиллиты и алевролиты по составу и характеру цемента близки к песчаникам, в зоне выветривания превращены в тяжелый суглинок. Конгломераты и гравелиты состоят на 50—80% из гравия и гальки, редко встречаются валуны размером 0,1—0,3 м, цемеит песчаный и глинистый. Объемная масса 2,48—2,74 г/см^3; временное сопротивление раздавливанию в сухом состоянии $680 \cdot 10^5$—$1500 \cdot 10^5$ Па, в выветрелом состоянии прочиость снижается до $200 \cdot 10^5$ Па (7 определений).

Туффито-диатомитовая формация позднемиоцен-плиоценового возраста слагает юго-восточное крыло Центрально-Камчатского прогиба. Разрез представлен преимущественно туфогенными песчаниками, гравелитами, конгломератами, аргиллитами, в подчиненном количестве находятся туффиты, туфодиатомиты, туфы. Основные разности чередуются в разрезе между собой, образуя пласты мощностью 10—30 м. Туффиты и туфы залегают слоями и прослойками мощностью 0,5—5 м, туфодиатомиты — линзообразными прослоями мощностью 0,5—1 м. Породы залегают моноклинально под углом до 8—10° к западу. В зоне выветривания породы выбеливаются и рассыпаются в мелкую щебенку, аргиллиты и алевролиты режутся ножом.

Песчаники неравномерно-зернистые, слоистые, слабо сцементированные. Алевролиты и аргиллиты скорлуповатые, с включением пемзы, мягкие, вязкие, часто трепеловидные, с коикрециями мергелей. Туфодиатомиты—мягкие породы, содержат многочисленные обломки диатомитовых водорослей, вулканического стекла, кристаллов плагиоклаза, кварца, сцементированных глинистым материалом.

Базальт-липаритовая формация позднемиоцен-плиоценового возраста широко распространена в Центрально-Камчатской и Южио-Камчатской зонах горстовых поднятий и на Курильских островах. Формация отличается от вышеописанной вулканогенной формации олигоцен-раннемиоценового возраста преобладанием продуктов наземной вулканической деятельности, преимущественно эксплозивной, существенным развитием среди туфогенных разностей крупнообломочных и агломератовых туфов, значительным содержанием эффузивов кислого состава. Основную часть разреза слагают лавы, туфы, туфобрекчии, лавобрекчии, в подчиненном количестве присутству-

ют туфоконгломераты, туффиты, туфопесчаники. Формация характеризуется грубым переслаиванием основных разностей, невыдержанными в разрезе и по площади. Мощность пластов основных разностей изменяется от 3 до 300 м, второстепенных — обычно не более 10 м. Существенно меняется по площади и соотношение лавового и пирокластического материала в разрезе. При общем преобладании последнего на юге Камчатки локально разрез может быть до 90% сложен потоками андезитов и базальтов. В Центрально-Камчатской зоне горстовых поднятий содержание эффузивных пород составляет 50—80% разреза. В целом для формации характерным является увеличение кислотности вулканических продуктов вверх по разрезу, от андезитов и базальтов до пород липарито-дацитового состава, обсидиана, игнимбритов. Общая мощность формации 1000—2000 м. С формацией тесно ассоциируют многочисленные экструзивные купола площадью до 200 км^2 и крупные экструзивные тела плиоценового возраста. Сложены андезитами, андезито-дацитами, реже долеритами и базальтами. Приконтактовые изменения экструзивных тел выражены зонами обжига мощностью 10—15 м. Породы слабо дислоцированы, залегают с уклоном до 5—8°. Отмечаются разломы, сбросы, сопровождающиеся зонами дробления, где породы часто превращены в тектоническую брекчию. По данным бурения, мощность трещиноватой зоны 80—100 м. Породы наиболее трещиноваты до глубины 15—60 м, где на 1 м количество трещин от 8 до 20, иногда порода разрушена на обломки размером 2—10 см или превращена в плотную глинистую массу. Глубже количество трещин на 1 м обычно уменьшается до 5—6. Породы неодинаково устойчивы к процессам выветривания, что приводит иногда к образованию ступенчатого профиля склона, сложенного переслаиванием лав и менее крепких туфов или туфобрекчий. Эффузивные породы (базальты, андезиты, дациты) представлены в основном порфировыми и афировыми разностями. Породы массивные и пористые со столбчатой, параллелепипедальной, реже плитчатой отдельностью. Трещиноватость и плотность могут изменяться даже в пределах одного потока (от пористой в верхней части потока до плотной в нижней). Физико-механические свойства (данные Камчатского территориального геологического управления) приведены в табл. 73.

Туф преимущественно средне- и крупнообломочный. Состав обломков меняется по площади от преобладания эффузивов в северных районах до вулканического песка и пемзы на юге Камчатки, цемент хлоритовый, пепловые туфы на 50—60% объема состоят из обломков волокнистого стекла. Трещины отдельностей разбивают породы на блоки размером 5×7×2 м. Породы средней крепости. В зоне выветривания некоторые разности пилятся пилой, пепловые туфы режутся ножом. Показатели прочности туфов меняются в зависимости от состава, степени выветривания и пористости породы. Туфобрекчии состоят из обломков эффузивов размером до 0,5—1 м, скрепленных пепловым цементом. В верхней части разреза встречаются разности, почти лишенные цемента, малоустойчивые к выветриванию. В зоне выветривания порода мягкая, липкая, землистая. Туфовые разности менее морозостойки, чем эффузивные (выдерживают 5—10 циклов при замораживании).

Молассовая формация плиоценового возраста объединяет комплекс лагунно-морских, прибрежно-морских и континентальных фаций, слагающих межгорные впадины и наложенные прогибы, расположенные в различных структурно-фациальных зонах региона. Для формации характерны преобладание грубообломочного материала

Таблица 73

Физико-механические свойства пород базальт-липаритовой формации

Породы	Место взятия пробы	Количество образцов	Плотность, г/см³	Объемная масса, г/см³	Пористость, %	Водопоглощение, %	Временное сопротивление сжатию, 10^8 Па	
							в воздушно-сухом состоянии	при насыщении водой
Базальт	юго-западное побережье (гора Черная)	2	2,75—2,87	2,47—2,83	2,7—9,4	0,5—2	982—2566	—
Андезито-базальт	побережье Авачинской губы	13	2,5 —2,84	2,23—2,84	0,8—12,6	0,4—6,7	245—909	272—925
Андезит массивный	бассейн Вилюя	3	2,91—2,97	2,54—2,91	2,2—12,7	0,3—4	1350—2298	1700
Андезит	п-ов Крашенинникова	10	2,61—2,64	2,44—2,53	3,02—6,6	0,94—3,57	671—1171	348—957
Обсидиан	пос. Начики	103	2,31—2,5	1,45—2,4	0—39,4	0—7,5	—	—
Перлит	то же	56	2,35—2,45	1,81—2,5	0,43—23	0—1	—	—
Туф								
андезитовый	побережье Авачинской губы	1	2,68	2,68	5,6	1,3	268	—
лавобрекчиевый, андезитовый	то же	3	2,55—2,75	2,23—2,53	4,6—15	1,1—7,1	190—710	—
пепловый	»	5	—	1,5 —1,77	28—40	10—23	136—192	—
выветрелый	юго-западное побережье (гора Черная)	2	2,68—2,7	1,3 —1,92	29—36	11,6—15,5	69—98	—

от слабо сцементированного в нижней части разреза до рыхлого в верхней, смена прибрежно-морских фаций лагунно-континентальными на сравнительно близком расстоянии. Представлена в нижней части разреза песчаниками, гравелитами, конгломератами с подчиненными слоями мощностью 0,1—1 м аргиллитов, алевролитов. В верхней части разреза преобладают пески, синие глины, галечники, которые образуют пачки мощностью 50—100 м с преобладанием одного из компонентов: песчаная пачка — переслаивание песков с гравелитами; ленточная пачка — песчанистая глина с пепловым песком; пачка синих глин — преобладание глин и глинистых плотных слоистых песков. Мощность слоев 0,2—0,5 м. Почти повсеместно встречаются прослои лигнита и бурых углей мощностью от 0,1 до 2 м, а на северо-востоке — каменных углей. Последние местами образуют горизонты мощностью до 100—300 м. Общая мощность формации 500—1000, местами до 2000 м. Породы очень слабо дислоцированы, часто залегают горизонтально или с уклоном не более 5—10°. Почти все разности формации при выветривании легко разрушаются. Песчаники полимиктовые, крупнозернистые, цемент глинисто-хлоритовый, слоистые, некрепкие, легко раскалываются молотком на мелкие плитки. Аргиллиты часто трепеловидные, при увлажнении превращаются в плотные глины. Конгломераты и гравелиты состоят на 60% из гравия, гальки и валунов различного состава. Объемная масса каменных углей Корфского месторождения 2—2,4 г/см^3; временное сопротивление сжатию до $300 \cdot 10^5$ Па.

Группа интрузивных формаций, объединяющая породы от палеозоя до неогена, представлена гипербазит-габбровой и гранитоидной формациями. Гипербазит-габбровая формация позднемелового возраста развита на крайнем востоке региона и представлена преимущественно перидотитами, пироксенитами, габбро, диабазами, дунитами, слагающими небольшие массивы площадью до 0,5 км^2, реже до 70 км^2. Гранитоидная формация имеет более широкое развитие и распространена во всех зонах антиклинальных или горстовых поднятий Камчатки. В ее составе отмечаются диориты, гранодиориты, порфириты и граниты. Они слагают крупные массивы площадью 50—160 км^2 в центральной и в юго-восточной частях региона и много мелких. Для контактов интрузий с вмещающими породами характерны зоны роговиков мощностью 1—6 км. Отмечаются тектонические зоны дробления, прослеживающиеся на глубину до нескольких сотен метров. В зонах дробления в несколько раз уменьшается прочность пород (Камчатское территориальное геологическое управление). Пористость диабазов (в районе пос. Елизово) в зоне дробления увеличилась до 9% при 0,7% в обычном залегании, водопоглощение — до 4% при 0,8% обычно. В рельефе, благодаря своей высокой устойчивости к выветриванию, интрузивные породы выделяются в виде сильно расчлененных обособленных горных массивов с крутыми склонами и острыми, реже куполообразными вершинами.

Интрузивные породы преимущественно массивные, очень крепкие. Некоторые сведения о физико-механических свойствах пород, полученные при разведке стройматериалов (данные Камчатского территориального геологического управления), приведены в табл. 74. По заключению сотрудников Камчатского территориального геологического управления, низкие величины прочности характерны для проб, подвергшихся более интенсивному гидротермальному воздействию. Все породы морозостойки — выдерживают 150—250 циклов.

Базальтовая формация четвертичного возраста широко развита в центральной и юго-восточной частях региона, где

Таблица 74

Физико-механические свойства интрузивных пород

Показатели	Диабаз	Диорит		Габбро-диорит
	пос. Елизово (4 определения)	пос. Елизово (156 определений)	пос. Паратунка (7 определений)	р-н Авачинский (2 определения)
Плотность, г/см³	2,79—2,81	2,7 —2,95	2,77	2,86 -2,92
Объемная масса, г/см³	2,76—2,79	2,5 —2,84	2,75	2,8 —2,89
Пористость, %	0,71—1,07	0,36—10	0,77	0,69—2,43
Водопоглощение, %	0,12—0,27	0,06—2,64	0,05	0,14—0,46
Коэффициент насыщения	0,35—0,36	0,3 —0,36	—	0,36—0,7
Временное сопротивление сжатию, 10^5 Па:				
в сухом состоянии	1141—1333	885—1816	1052—1307	1346—1796
во влажном	1163—1263	—	1023—1300	1305—1755

слагает обширные наложенные структуры: Срединный и Восточный вулканические пояса. Характер вулканических построек весьма разнообразен — это обширные вулканические долы, одиночные конусообразные стратовулканы и их цепочки, кальдеры, вулканические хребты, щитовидные пологосклонные, обычно сильно разрушенные вулканы, сильно расчлененные высокогорные плато и др. Формация представлена чередованием андезитов, андезито-базальтов, базальтов, их туфов, туфобрекчий, лавобрекчий. Чередуясь в разрезе и по площади, они образуют грубослоистую толщу. Породы отличаются свежим обликом и высокой пористостью лав. Мощность формации изменяется от сотен метров до 2000 м. Породы залегают горизонтально или с небольшим уклоном от центров вулканических сооружений к периферии и характеризуются различной трещиноватостью. Наиболее трещиноваты эффузивные разности. Потоки лав обычно разбиты трещинами на всю мощность. В базальтах преобладают вертикальные или крутопадающие трещины, придающие породе столбчатую отдельность, в андезитах — горизонтальные или наклонные, образующие плитчатую отдельность. Степень трещиноватости потока может резко изменяться от подошвы к кровле. Трещины обычно зияющие, от волосных до 0,1—0,2 м. Туфы и туфобрекчии обычно меньше трещиноваты, для них характерна вертикальная система трещин отдельности, трещины, как правило, закрыты продуктами выветривания. В целом для эффузивов характерны крупноглыбовые осыпи в обнажениях и на склонах. Пирокластические разности в основном образуют щебнисто-глыбовые осыпи.

Эффузивные разности плотные, порфировой структуры, вкрапленники составляют 25—40%, иногда шлакоподобные и стекловатые, преимущественно пористые, особенно базальты, у которых диаметр пор до 0,1—2 см. Облик базальтов может быть различный даже в пределах одного потока — массивный в основании и ноздреватый на поверхности, пористость его достигает 40%. Туфы крупнообломочные и агломератовые, слабо сцементированные пепловым материалом. Пемзовые туфы легко обрабатываются режущим инструментом. Туфо- и кластолавы — крепкие породы, состоящие из угловатых обломков и глыб, сцементированных дробленными осколками вулканического стекла. Обсидиановые лавобрекчии хрупкие с занозистым изломом, состоят из обломков стекла размером до 3 мм, сцементированных стекловатой массой. Физико-механические свойства пород приведены в табл. 75 (данные Гидропроекта, Дальтисиза и Камчатского территориального геологического управления).

Таблица 75

Физико-механические свойства пород базальтовой формации четвертичного возраста

Породы	Место взятия пробы	Плотность, г/см³	Объемная масса, г/см³		Пористость, %	Водопоглощение, %	Коэффициент пористости	Коэффициент фильтрации, м/сут	Временное сопротивление сжатию, 10^5 Па		Модуль деформации, 10^5 Па	Коэффициент Пуассона	Модуль упругости отпора, 10^5 Па	Нормативное давление, 10^5 Па
			влажной породы	скелета					в сухом состоянии	в водонасыщенном				
Базальт слаботрещиноватый	район Кроноцкого вулкана	2,85	2,81	2,8	2	0,8	0,018	0,1—1,0	1500—2000	—	150000	0,25	1200	40
Базальт сильнотрещиноватый		2,85	2,71	2,71	5	3	0,05	10—100	1000	—	100000	0,25	800	15—20
Брекчиевые лавы базальтов пористых		2,78	2,38	2,15	23	4	0,29	100—1500	500—1000	—	50000	0,25	400	10
Шлаковые лавы базальтов		2,73	2,2	1,9	32	5	0,46	100—150	300—500	—	10000	0,25	75	8
Андезито-базальт	район Петропавловска-Камчатского	2,7—3,2	2,58—2,64	—	3,9	—	—	—	400—1000	—	—	—	—	—
Андезит трещиноватый	п-ов Завойко	2,65—2,81	2,35—2,68	—	1,2—12	0,3—4	—	—	835—1410	750—1040	—	—	—	—
Андезит	г. Мишенная	2,69—2,77	2,13—2,35	—	2—21	6—8	—	—	415—714	141—659	—	—	—	—
Андезит	район Авачинской губы	2,75—2,77	2,13	—	2	9	—	—	132—173	141—161	—	—	—	—
Туф спекшийся	район Кроноцкого вулкана	2,9	2,56	2,4	17	4	0,2	0,1—10	—	—	1000	0,25	8	6
Туф псефитовый средней плотности	то же	2,85	2,34	2,05	25	—	0,39	0,1—10	—	—	250	0,3	2	3
Туф агломератовый средней плотности	»	2,85—2,47	2,35—1,29	2,1	25	8	0,35	0,1—10	—	—	500	0,3	4	5
Игнимбриты	бассейн р. Жупановой	2,71	2,08	—	22,7—48,4	8,1—34,5	—	—	50—500	—	—	—	—	—

Озерные и озерно-аллювиальные ранне-среднеплейстоценовые отложения распространены на западе региона, где они слагают плоскую или волнистую равнину с отметками до 200—300 м (Западно-Камчатская впадина). На значительной площади они перекрыты торфом, а в долинах рек — аллювиальными, водно-ледниковыми, а на отдельных водоразделах — ледниковыми осадками. Отложения представлены песками, галечниками, супесями, суглинками, редко глинами, переслаивающимися между собой. Мощность прослоев галечников и песков до 5—7 м, супесей и суглинков с включением гравия и гальки — 3—12 м, глин — до 3 м. Соотношение в разрезе связанных и рыхлых разностей меняется по площади. Так, в верхней части разреза, прилегающей к морю части равнины, преобладают супеси и суглинки, образующие нередко покровы мощностью 0,5—3 м, а вблизи подножия Срединного хребта — пески и галечники. Мощность породы в северной и восточной частях до 6—20 м, к югу и западу она увеличивается до 40—75 м, местами до 100 м.

Пески от мелких до крупных, гравелистые (гравия до 25%), гравелисто-галечниковые (гравия до 20%, гальки 5—20%), часто пылеватые, средней плотности и рыхлые. Угол естественного откоса сухих песков 35—40°, под водой — 30—35° (единичные анализы). Галечники содержат до 10% валунов; заполнитель (15—45%) гравий или гравелистый песок. Супеси и суглинки иногда гравелистые (гравия до 35%, гальки и валунов до 10%, реже 25%), часто пылеватые, плотные. Число пластичности супесей 5—7, суглинков — 8—12. Глины пластичные, реже твердые. Коэффициент фильтрации мелкозернистых пылеватых песков 0,3—0,4 м/сут, супесей — 0,08 м/сут. Нормативное давление на пески гравелистые $3{,}5 \cdot 10^5$—$4{,}5 \cdot 10^5$ Па, на пески сухие — $2{,}5 \cdot 10^5$—$3{,}5 \cdot 10^5$ Па, на насыщенные водой — $1{,}5 \cdot 10^5$—$2{,}5 \cdot 10^5$ Па, на галечники — $6 \cdot 10^5$ Па, на глины в твердом состоянии — $5 \cdot 10^5$ Па, в пластичном — $3 \cdot 10^5$ Па; на суглинки в твердом состоянии — $2{,}5 \cdot 10^5$—$4 \cdot 10^5$ Па, в пластичном — $1 \cdot 10^5$—$2{,}5 \cdot 10^5$ Па.

Озерные, аллювиальные ледниковые и флювиогляциальные плейстоценовые отложения развиты в Центрально-Камчатском прогибе, где слагают равнину и высокие террасы р. Камчатки. Осадки разного генезиса сменяют друг друга как по разрезу, так и по площади, что на данной стадии изученности обусловливает объединение их в один инженерно-геологический комплекс. Строение комплекса изучено слабо. Согласно Н. П. Куприной (1966), в основании разреза залегает толща плотных, от мягкопластичных до твердой консистенции, глин и суглинков, супесей и мелкозернистых, рыхлых хорошо сортированных песков.

В отложениях четко выражена горизонтальная и волнистая слоистость. Встречаются прослойки рыхлого витрокластического пеплового туфа мощностью 5—7 см. Видимая мощность отложений в обнажениях 0,5—8 м, но, судя по абсолютным отметкам их выходов, она может достигать 60 м и более. Выше с размывом залегает толща рыхлых песков видимой мощностью до 2—30 м. Для этих отложений характерна линзовидная, косая и диагональная слоистость (мощность слоев и линз от 0,5 до 3,5 м). Крупнозернистые пески с гравием и галькой переслаиваются со средне- и мелкозернистыми песками, часто встречаются быстровыклинивающиеся линзы гравия и галечников. Состав толщи не выдержан по площади, в одних разрезах преобладают крупнозернистые пески и галечники, в других — средне- и мелкозернистые пески. На размытой поверхности песков залегают валунные суглинки, супеси и пески мощностью более 30 м. Породы содержат до 25—40% валунов размером до 0,5—0,8 м в поперечнике. Местами валунные суглинки от-

делены от нижележащей песчаной толщи прослоем галечников мощностью 3—8 м с маломощными линзами крупнозернистых песков. На размытой поверхности валунных суглинков в ряде обнажений прослеживается толща горизонтально- или волнисто-слоистых песков, которые местами чередуются с алевритами или перекрываются ими. Пески граувакового типа, различной плотности, от мелко- до крупнозернистых, обогащенные пеплом, с гравием и галькой, местами гравелистые, с прослоями и линзами мощностью от нескольких сантиметров до 10 м гравия, галечников, гравелисто-галечниковых отложений, глин, редко торфа. Видимая мощность отложений 12—45 м, но согласно абсолютным отметкам, на которых они прослеживаются, может достигать 100 м. Мощность комплекса 100—200 м, а местами до 350 м и более (Ермаков, 1969). Физико-механические свойства пород характеризуются широкими пределами. Так, объемная масса песков 1,38—1,9 г/см^3, суглинков — 1,6—1,75 г/см^3, галечников — 1,4—2 г/см^3; плотность соответственно 2,63—2,78 г/см^3, 2,6—2,8, 2,65—2,88 г/см^3. По единичным определениям коэффициент фильтрации песков до 40 м/сут, галечников — 60—100 м/сут. Угол естественного откоса галечников 45—55°, сухих песков — 32—45°, под водой — 25—40°. Нормативное давление на сухие пески $2{,}5 \cdot 10^5$—$3 \cdot 10^5$ Па, на насыщенные водой — $1{,}5 \cdot 10^5$—$2{,}5 \cdot 10^5$ Па, на супеси, суглинки и глины в твердом состоянии $2{,}5 \cdot 10^5$—$3 \cdot 10^5$ Па, в пластичном — $1 \cdot 10^5$—$2{,}5 \cdot 10^5$ Па.

Аллювиальные отложения и отложения смешанного генезиса (аллювиально-пролювиальные, флювиогляциальные и др.) **плейстоценовые и голоценовые** слагают надпойменные террасы различного уровня, поймы и русла рек и выполняют узкие межгорные впадины юга Камчатки. В целом для отложений характерно преобладание песчано-гравийно-галечниковых отложений, причем соотношение между литологическими разностями меняется по площади и в вертикальном разрезе. Для аллювия горных рек характерно преобладание валунов и крупной гальки. В предгорной и равнинной частях региона в отложениях увеличивается содержание мелких фракций, появляются прослои супесей и суглинков. В отложениях надпойменных террас в верхней части разреза преобладают пески с маломощными прослоями супесей, реже суглинков в отложениях II и III террас, в нижней — гравийно-галечные отложения с песчаным (II и III террасы) и супесчаным (I терраса) заполнителем. Пойма обычно сложена песками, гравием и галькой, в устьевых частях рек — иловатыми песками и глинами. Мощность прослоев отдельных литологических разностей от 0,1 до 1 м. Общая мощность отложений от 0,5 до 15 м, реже достигает 30 м.

Отложения смешанного генезиса, развитые в межгорных впадинах юго-востока Камчатки и практически неотделимые в разрезе и по площади от аллювиальных отложений в этих впадинах, близки к последним по литологическому составу. В их разрезе также в верхней части преобладают пески, мощность прослоев которых достигает 18—40 м, в нижней — гравий и галечник с песчаным заполнителем. Характерным является наличие линз и прослоев суглинков и глин мощностью 0,5—6 м, иногда до 16 м, которые местами (долины рек Плотникова, Паратунки) составляют до 20—39% объема породы. Мощность отложений до 70 м, реже до 150 м.

Пески от мелких до крупных, обычно гравелистые (гравия 25—45%). Галечники и валунники состоят из хорошо окатанных обломков эффузивных пород с песчаным (15—30%) или гравийным (10—15%) заполнителем. Размер гальки 4—7 см, валунов 0,1—0,2 м, реже до 1 м. Суглинки и супеси от легких до тяжелых, местами с гравием (до 25%)

и галькой с поверхности до глубины 1 м, макропористые. Физико-механические свойства изучены на локальных участках (данные Дальтисиза и Гипрорыбпрома) в основном для отложений низких террас (табл. 76). Коэффициент фильтрации супесей 0,1—1,7 м/сут, песков — от 0,6—2 м/сут для пылеватых до 24 м/сут для гравелистых, гравийно-галечных отложений — от 48 до 220 м/сут, галечников и валунников — до 520 м/сут.

Морские, лагунно-морские и дельтовые плейстоценовые и голоценовые отложения развиты в прибрежной части региона прерывистой полосой до 5—15 м шириной. Морские отложения слагают косы, пляжи, береговые валы, террасы различного уровня с абсолютными отметками от 10 до 200 м (высокие террасы развиты на восточном побережье преимущественно в районе Кроноцкого и Камчатского заливов); лагунно-морские и дельтовые — низкие заболоченные равнины по берегам бухт и в устьях крупных рек. Отложения залегают с поверхности или перекрыты торфом мощностью до 3—6, реже 10 м. В составе их преобладают песчаные, гравийно-галечные отложения и галечники, сложно переслаивающиеся между собой. В разрезе высоких морских террас в верхней части до глубины 25—30 м преобладают пески мелко- и крупнозернистые (мощность слоев 0,2—2 м), иногда слабо сцементированные. На локальных участках отмечаются частые маломощные прослои супесей. Нижняя часть разреза (по единичным скважинам на побережье Кроноцкого залива) представлена песками с гравием и линзами суглинков или переслаиванием песков и галечников. Мощность отложений 50—80, иногда до 250 м. В верхней части разреза низких террас (10—30 м) до глубины 15—20 м преобладают мелкозернистые и пылеватые пески с прослоями супесей и суглинков мощностью 0,1—2, реже до 7 м. Ниже отложения сменяются гравийно-галечными и галечными с прослоями и линзами песков, реже супесей и суглинков мощностью 0,5—3 м. С глубины 4 м встречаются прослои илов мощностью 0,1—4, реже 10—20 м. Мощность отложений низких террас 5—35 м. Береговые валы, пляжи и косы сложены гравийно-галечными отложениями, галечниками и валунниками, а также разнозернистыми песками с содержанием (до 30—50%) гальки. Мощность не более 10—15 м, иногда на береговых валах достигает 20 м. В пределах акватории морских бухт отложения представлены песками с содержанием гальки до 30—40% и обломков ракушек до 20%, переслаивающимися с прослоями ила мощностью от 2 до 13 м. В разрезе лагунно-морских и дельтовых отложений преобладают мелкозернистые глинистые пески с частыми прослоями супесей, суглинков, илов, торфа, реже встречаются гравелисто-галечниковые прослои с суглинистым заполнителем. Мощность отложений до 10 м, местами достигает 25 м. Физико-механические свойства отложений изучены на локальных участках единичными анализами. Объемная масса пылеватых песков 1,2—1,4 г/см^3, мелких — 1,4—1,6 г/см^3, средних — 1,5—1,7 г/см^3 и крупных песков — 1,7—1,85 г/см^3; под водой соответственно 0,95 г/см^3; 1,04; 1,08 и 1,1 г/см^3. Для гравелистых песков пористость 31,5%, коэффициент пористости 0,46, угол естественного откоса в сухом состоянии 32°, под водой — 29°. Угол внутреннего трения пылеватых песков 18—22°, мелких — 28—30°, средних — 32—34°; сцепление соответственно $0{,}04 \cdot 10^5$ Па; $0{,}02 \cdot 10^5$ и $0{,}01 \cdot 10^5$ Па; коэффициент фильтрации пылеватых песков 0,8—5 м/сут, мелких — до 11 м/сут, средних — до 26 м/сут, крупных — до 88 м/сут и гравелистых песков до 170 м/сут. В табл. 77 приведены некоторые средние показатели физико-механических свойств песков, слагающих низкие террасы у пос. Усть-Камчатск (материалы Дальтисиза). Нормативное давление

Таблица 76

Физико-механические свойства аллювиальных отложений плейстоценового и голоценового возраста

Показатели	Долина р. Камчатки					Долина р. Тигиль			Долина р. Авачи			Долина р. Паратунки
	с. Мильково, I надпойменная терраса		пос. Ключи, II надпойменная терраса			с. Тигиль, II надпойменная терраса			пос. Елизово, II надпойменная терраса			с. Паратунка, II надпойменная терраса
	песок пылеватый (5)	супесь (10)	песок (8)	супесь (3)	суглинок (2)	супесь пластичная (15)	суглинок макропористый (1)	суглинок мягкопластичный (10)	супесь (19)	песок пылеватый (10)	песок гравелистый (10)	гравий (5)
Плотность, г/см³	2,66	2,6—2,67	2,7—2,74	2,7	2,8	2,47—2,63	—	2,56—2,63	2,52—2,76	2,61—2,67	2,67—2,71	2,65—2,68
Объемная масса влажного грунта, г/см³	1,93—2	1,77—1,9	—	—	—	1,6—2,1	1,68	1,6—1,96	1,34—2,18	1,82—2,1	1,84—2	2,29—2,32
Объемная масса скелета грунта, г/см³	1,43—1,53	1,32—1,43	1,07—1,3	1,4	1,12	—	—	—	1,24—1,97	1,35—1,68	1,7—1,97	2,01
Пористость, %	42,5—46	44,2—50,6	66—72	—	—	36,7—41	—	36—51	30,9—50,6	32—38	—	24—25
Коэффициент пористости	0,74—0,86	0,79—1,02	1,9—2,7	0,9	1,5	0,581—0,691	0,991	0,56—1,04	0,44—1,02	0,47—0,63	0,57—0,64	0,31—0,33
Естественная влажность, %	29,9—34,3	30,2—33,6	23—52	—	—	24,5—34	47,5	22,1—53,4	14,3—33,7	11—22	8—48	7,7—15,5
Пластичность:												
предел текучести		26,6—27,7	—	31—43	31—36	29—35	53	31—51	17,5—30,6	—	—	17—22*
предел раскатывания		23,1—24,8	—	25—36	23—29	26—28	38	20—35	14,1—26	—	—	15—18*
число пластичности		2,9—3,5	—	6—6,6	7,1—8,5	3—7	15	11—16	2—6,3	—	—	2—4*
Консистенция		>1	—	—	—	0,53	0,63	0,63	>0—0,9	—	—	>0
Угол внутреннего трения, градусы			17	17	10	—	—	—	15—24	36	—	—
Сцепление, 10^5 Па			0,05—0,15	0,15	0,5	—	—	—	0,28—0,82	0,08	—	—
Вертикальное давление, 10^5 Па			0,5—1,5	1,5	1	—	—	—	—	—	—	—

* Характеристики пластичности даны для заполнителя. В скобках дано количество образцов.

Таблица 77

Физико-механические свойства песков

Показатели	Песок средний	Песок мелкий	Песок пылеватый
Плотность, г/см³	$2{,}75\ \frac{0}{2{,}65—2{,}79}$ (13)	$2{,}73\ \frac{0}{2{,}69—2{,}8}$ (14)	$2{,}7\ \frac{0}{2{,}62—2{,}78}$ (15)
Объемная масса влажного грунта, г/см³	$1{,}71\ \frac{0}{1{,}61—1{,}82}$ (12)	—	$1{,}7\ \frac{0}{1{,}3—1{,}74}$ (10)
Пористость, %	$38{,}6\ \frac{3{,}3}{32{,}2—44{,}9}$ (12)	—	$39{,}4\ \frac{3{,}8}{33{,}5—46{,}2}$ (9)
Угол естественного откоса, градусы:			
сухого	$30\ \frac{6{,}8}{23—44}$ (20)	$40\ \frac{5{,}8}{25—45}$ (19)	$2{,}89\ \frac{1{,}9}{26—33}$ (10)
под водой	$24\ \frac{6}{19—34}$ (20)	$32\ \frac{5{,}3}{20—44}$ (18)	$21{,}6\ \frac{1{,}5}{20—26}$ (10)

Примечание. Вычисления проведены по формуле $X\ \frac{\sigma}{A}\ h$, где X — средние значения; σ — средние квадратичные отклонения; A — максимальное и минимальное значение; h — число частных значений, используемых при подсчете.

на пески $2 \cdot 10^5$—$3{,}5 \cdot 10^5$ Па, на насыщенные водой — $1{,}5 \cdot 10^5$—$4 \cdot 10^5$ Па. Галечники содержат 5—15% валунов, до 30% гравия, валунники — 10—20% гальки, до 20% гравия.

Гравийно-галечные отложения состоят из 10—25% гравия, 25—45% гальки. Заполнитель — плотный песок различной крупности составляет 15—25%. Преобладающий размер гальки 4—8 см, валунов — 15—20 см. По единичным анализам плотность галечников и гравийно-галечных отложений 2,62 г/см³; объемная масса 2—2,4 г/см³; угол внутреннего трения 30—35°; сцепление $0{,}01 \cdot 10^5$—$0{,}1 \cdot 10^5$ Па, модуль деформации $300 \cdot 10^5$—$400 \cdot 10^5$ Па; угол естественного откоса 30—45°, под водой — 25—35°; коэффициент фильтрации до 285 м/сут; нормативное давление $5 \cdot 10^5$—$6 \cdot 10^5$ Па.

Супеси и суглинки от легких до тяжелых, пылеватые, без включений или с небольшим количеством гравия (2—5%), иногда с включением гальки до 40%. По единичным анализам для супесей низких террас, естественная влажность 17,6—46,3%; предел текучести 15,7—38; предел раскатывания 13,3—34; число пластичности 2,4—6; объемная масса 1,8—2,1 г/см³; объемная масса скелета 1,27—1,83 г/см³; пористость 24,4—49,8%; коэффициент пористости 0,35—0,992; плотность 2,43—2,65 г/см³; угол внутреннего трения 13—22°; сцепление $0{,}15 \cdot 10^5$—$0{,}2 \cdot 10^5$ Па.

Илы песчанистые, текучие или мягкопластичной консистенции, относятся к среднесжимаемым (коэффициент сжимаемости $0{,}05 \cdot 10^{-5}$ Па$^{-1}$) сильно просадочным грунтам, непригодным под основания для сооружений. В табл. 78 приводятся основные средние показатели физико-механических свойств илов (материалы Гипрорыбпрома).

Ледниковые средне-позднеплейстоценовые отложения наиболее широко развиты в северной части региона, в пределах Срединного хребта, где выполняют днища многочисленных троговых долин и цирков. Отмечаются они также и в прилегающих к хребтам частях Центрально-Кам-

Таблица 78

Физико-механические свойства илов

Показатели	м. Завойко	Петропавловск-Камчатский
Плотность, г/см³	2,7 $\frac{0}{2,63—2,75}$ (42)	2,42 $\frac{0,16}{2,22—2,66}$ (20)
Объемная масса грунта, г/см³:		
влажного	1,76 $\frac{0}{1,6—1,89}$ (42)	1,76 $\frac{0,07}{1,6—1,93}$ (20)
скелета	1,23 $\frac{0}{1,05—1,47}$ (42)	1,14 $\frac{0,08}{1,01—1,35}$ (20)
Естественная влажность, %	44,6 $\frac{6,2}{32,1—54,9}$ (42)	53,1 $\frac{6,65}{40,8—64,7}$ (26)
Пластичность:		
предел текучести	41 $\frac{5,8}{30,4—58,3}$ (37)	57 $\frac{6,5}{47,3—67,9}$ (26)
предел раскатывания	30,8 $\frac{3,3}{25,4—36,3}$ (37)	40,6 $\frac{4,23}{30—46,6}$ (26)
число пластичности	10 $\frac{5,2}{17—23,9}$ (37)	17,3 $\frac{4,25}{10,8—27,8}$ (26)
Пористость, %	53,7 $\frac{4,8}{36,9—61}$ (42)	52,9 $\frac{3,7}{45,5—60}$ (20)
Коэффициент пористости	1,21 $\frac{0,1}{0,83—1,55}$ (42)	1,12 $\frac{0,15}{0,83—1,36}$ (20)
Консистенция	1,5 $\frac{0,6}{0,26—3,51}$ (37)	—
Сцепление, 10^5 Па	0,21 $\frac{0}{0,01—0,45}$ (40)	0,18 $\frac{0}{0,15—0,25}$ (6)
Угол внутреннего трения, градусы	21 $\frac{4}{15—30}$ (40)	18,8 $\frac{2,4}{16—22}$ (6)
Коэффициент внутреннего трения	0,37 $\frac{0}{0,23—0,59}$ (40)	—
Модуль деформации, 10^5 Па	—	46,2 $\frac{16,5}{24—81,5}$ (13)

Примечание. См. табл. 77.

чатской и Западно-Камчатской равнин. Представлена морена незакономерно перемежающимися по площади и в разрезе несортированными суглинками и супесями, реже песками с большим содержанием гравия (15—35%), гальки (10—30%) и валунов (5—40%). Среди супесей и суглинков встречаются редкие линзы песков и галечников мощностью 0,5—3 м, реже до 10 м. Нередко, в основном на востоке Камчатки, в нижней части разрезов преобладают валунники с пылеватым супесчаным заполнителем до 20—50%, с прослоями и линзами песков и супесей мощностью 0,3—0,5 м. Преобладающая мощность отложений 6—30 м, иногда достигает 60—80 м (междуречье рек Облуковины

и Колпакова, побережье Берингова моря, Центрально-Камчатская равнина).

Суглинки и супеси от легких до тяжелых, пылеватые, плотные, бесструктурные; пески различной зернистости, плотные. Содержащиеся в них галька размером 5—8 см и валуны размером 0,2—0,5 м различной степени окатанности. Севернее 60° с. ш. породы находятся в мерзлом состоянии, летом протаивают на глубину до 1,4—1,8 м. По единичным анализам объемная масса супесей и суглинков 1,6—1,9 г/см^3, песков — 1,65—1,85 г/см^3; плотность соответственно 2,6—2,8 и 2,57—2,78 г/см^3; коэффициент фильтрации валунных супесей 0,1—0,4 м/сут, песков — 20—40 м/сут; угол естественного откоса песков 35—45°, естественная влажность 20—45%. Нормативное давление на пески $2{,}5 \cdot 10^5$—$4{,}5 \cdot 10^5$ Па, на супеси и суглинки — $3 \cdot 10^5$—$4{,}5 \cdot 10^5$ Па.

Водно-ледниковые средне- и позднеплейстоценовые отложения распространены в долинах рек, где слагают террасы высотой до 35 м и зандровые поля на участках Западно- и Центрально-Камчатской равнин и приморских низменностях северо-востока Камчатки. Представлены песками (преобладают в Центрально-Камчатской впадине), гравием, галечниками и валунниками, переслаивающимися между собой. В верхней части разреза преобладают пески, содержащие до глубины 4—9 м невыдержанные прослои супесей и суглинков мощностью 0,5—3,5 м, в нижней — галечники и валунники. Последние местами нацело слагают террасы. Среди песков, иногда обогащенных пеплом (Центрально-Камчатская впадина), встречаются линзы и прослои гравия и галечника от нескольких сантиметров до 3—10 м, а в галечниках и валунниках — линзы разнозернистых песков мощностью 0,1—0,2 м. Мощность отложений 6—45 м, максимальная до 100 м.

Пески от мелких до крупных, обычно гравелистые с галькой и валунами (гравия 10—45%, гальки 5—25%, валунов 5—30%). Хорошо окатанные гравийники, галечники и валунники с песчаным и супесчаным заполнителем (20—45%). Преобладающий размер гальки 4—5 см, валунов — 0,1—0,5, редко до 1 м. Супеси и суглинки пластичные, легкие и средние, пылеватые, плотные, часто с включениями (до 30%) гравия, гальки и одиночных валунов. Породы на севере региона часто находятся в мерзлом состоянии. Лед содержится в виде цемента и линз. Летом происходит протаивание на глубину до 2,5 м. По данным единичных анализов объемная масса песков 1,39—1,9 г/см^3, галечников — 1,4—2 г/см^3; плотность соответственно 2,6—2,8 г/см^3 и 2,65—2,88 г/см^3. Коэффициент фильтрации супесей 0,2—0,4 м/сут, песков — до 23 м/сут, гравелистых песков — 40—60 м/сут, галечников и валунников — 75—175 м/сут. Угол естественного откоса сухих песков 35—45°, под водой — 25—40°, песков гравелистых — 30—40°, галечников и валунников — 45—55°. Число пластичности супесей 2—4. Нормативное давление на гравелистые пески $4{,}5 \cdot 10^5$ Па, на галечники и валунники — $5 \cdot 10^5$—$6 \cdot 10^5$ Па; на пески и супеси сухие — $2 \cdot 10^5$—$3{,}5 \cdot 10^5$ Па, на насыщенные водой — $1{,}5 \cdot 10^5$—$3{,}5 \cdot 10^5$ Па, на суглинки в твердом состоянии — $2 \cdot 10^5$—$3 \cdot 10^5$ Па и в пластичном — $1 \cdot 10^5$—$2{,}5 \cdot 10^5$ Па.

Пирокластические среднеплейстоценовые-голоценовые отложения распространены в Восточном вулканическом районе Камчатки и на островах Большой Курильской гряды, на склонах вулканов и у их подножий. Условия залегания отложений, литологический состав и мощность изменяются в широких пределах в зависимости от разных факторов (тип и сила извержений, состав выбросов, степень воздействия водных и грязевых потоков, крутизна вулканической постройки, наличие ледников на вулканах и др.). Комплекс включает как сохранившиеся

в непереотложенном состоянии пирокластические отложения, так и трудноотделимые от них по площади и в разрезе эти же образования, но перемещенные временными водными и эпизодическими грязевыми потоками. Выделяется несколько разновидностей пирокластических отложений, отличающихся литологическим составом. Шлаковые конусы, расположенные на склонах вулканов и имеющие насыпное происхождение, иногда достигают нескольких километров в поперечнике и имеют относительное превышение (200—300 м). Сложены они вулканическим шлаком — рыхлой смесью из лапиллн (около 60%), состоящих из слабоокатанных и угловатых обломков размером от 5 до 75 мм, вулканических бомбочек и обломков пористых и массивных базальтов размером до 0,5 м, с вулканическим песком до 40% и пеплом до 0,5%. Пемзовые поля также насыпного происхождения образуют покровы площадью до 300—360 км², сложенные смесью из кусков тонкопористой, ноздреватой пемзы (до 50% объема), кусков лав (до 30%), вулканического песка (8—20%) и пепла (5—15%), иногда встречаются прослои мощностью 5—20 см чистых пемзовых песков. Мощность покровов от 5 до 100 м.

Агломератовые потоки, сформировавшиеся в результате остывания раскаленных каменных лавин, распространены на склонах вулканов и простираются от центра на расстояние от нескольких километров до десятков километров. Представлены они грядообразным нагромождением глыбового материала высотой 5—8 м. Ширина потоков обычно в 3—5 раз меньше длины. Состоят они из обожженных глыб андезитобазальтов и базальтов размером 1—5 м в поперечнике; в резко подчиненном значении находится мелкий обломочный материал, заполняющий промежутки между глыбами. По мере удаления от эруптивного центра количество последнего увеличивается.

Лахаровые отложения, представленные пирокластическим материалом, переотложенным во время извержения грязевыми потоками, широко распространены на склонах и у подножий вулканов (в районе Авачинской и Ключевской группы вулканов). В рельефе они слагают равнины площадью до 120 км² с уступообразной поверхностью (высота уступов до 50—60 м) и состоят из глыб и обломков эффузивных пород, более уплотненных, чем в агломератовых потоках и сцементированных пеплом. Мелкообломочный материал составляет 40—60% объема, глыбы — 10—15%, вулканический песок — 20—30%. Мощность лахаровых отложений от десятков метров до 150—170 м.

Пирокластические отложения, переотложенные водами сильных дождей и временных водотоков, слагают крупные конусы выносов и обширные равнины у подножия вулканов. Для них характерно разнообразие литологического состава и крайняя невыдержанность слоев по мощности и простиранию. Представлены они переслаиванием вулканического песка с линзами супесей и пепла, дресвы и щебня с супесчаным заполнителем, составляющим 30—50% объема. Мощность слоев 25—60 м. Иногда в разрезе отмечаются слои мощностью от 1 до 20 м супеси и суглинка, вулканического пепла и шлака. Локальные участки на склонах вулканов сложены вулканическими пеплами с примесью пылеватых песков и супесей мощностью более 10 м. Общая мощность переотложенных пирокластических отложений до 100, реже до 200 м Пирокластические отложения отличаются большим разнообразием физико-механических свойств. Так, угол внутреннего трения для лахаровых отложений в районе Петропавловска-Камчатского составил 22°, а для вулканического пепла в районе пос. Ключи снижается до 17°; сцепление соответственно 0 и $0{,}05 \cdot 10^5$ Па; модуль деформации $200 \cdot 10^5$ и $12 \cdot 10^5$—

$25 \cdot 10^5$ Па, а для супесей и гравелистых песков в районе Петропавловска-Камчатского соответственно $275 \cdot 10^5$ и $205 \cdot 10^5$—$390 \cdot 10^5$ Па. Для вулканического шлака (гора Шлаковая) коэффициент размягчения 0,8—1; свободное водопоглощение до 55% (среднее 23%); временное сопротивление сжатию в сухом состоянии $8 \cdot 10^5$—$40 \cdot 10^5$ Па, во влажном — $7 \cdot 10^5$—$30 \cdot 10^5$ Па. Физико-механические показатели приведены в табл. 79.

Особый интерес представляют переотложенные образования. Проведенные Новосибирским институтом проектирования городов опыты показали большую сжимаемость грунтов под давлением, подвижность под нагрузкой и возможность осадки. Характерна высокая пористость (до 80%), естественная влажность (до 131%), в 10 раз превышающая влажность при пределе текучести, своеобразная пластичность, выражающаяся в том, что грунты не образуют пластичной массы, не сохраняют полученную при деформации форму, не обладают липкостью, очень гидрофильны (показатель гидрофильности глинистой фракции от 1,7 до 7). Причем к гидрофильным грунтам относятся не только супеси и суглинки, но и гравий.

Специфическими грунтами являются вулканические пеплы и смесь пепла с супесью или песком. Эти разности исследовались камчатскими строительными организациями в районе пос. Ключи до глубины 10 м. Отложения имеют тонкозернистый пылеватый состав, высокую пористость (до 70%), коэффициент пористости до 2,37, превышающие пористость, характерную для лессовидных грунтов. Несмотря на высокую пористость, они трудно размокаемы и устойчивы в откосах (угол естественного откоса 39°). Характерна высокая способность к уплотнению, коэффициент сжимаемости при нагрузке $1 \cdot 10^5$ Па равен $0{,}21 \cdot 10^{-5}$—$0{,}58 \cdot 10^{-5}$ $Па^{-1}$. Осадка грунта достигает 80 мм/м при нагрузке $1 \cdot 10^5$ Па, средняя относительная просадочность 0,041, коэффициент относительной просадочности 0,0015—0,038. Рассчитанная величина просадочности составляет 33,6 см. Грунты относятся ко второй категории по просадочности и при возведении сооружений требуют проведения мероприятий, необходимых при строительстве на просадочных грунтах. Нормативное давление для переотложенных образований $1 \cdot 10^5$—$4 \cdot 10^5$ Па для сухих грунтов и для водонасыщенных $1 \cdot 10^5$—$2 \cdot 10^5$ Па.

Элювиально-делювиальные голоценовые отложения развиты в горной части региона и на денудационных равнинах запада Камчатки. Представлены обломками, щебнем и дресвой с различным составом заполнителя, реже супесями и суглинками с дресвой и щебнем, иногда песками. В пределах среднегорья и высокогорья на верхних и средних частях склонов гор обычно развиты щебнистые или щебнисто-глыбовые осыпи и россыпи. На выположенных участках горной местности, на древних вулканических плато и в пределах денудационных равнин в верхних частях разрезов преобладают супеси и суглинки, содержащие 5—40% дресвы и щебня, в нижних — дресвяные и щебнистые отложения с песчаным и супесчаным заполнителем, содержание которого уменьшается с глубиной до 20%. Преобладающий размер щебня 0,1—0,2 м, глыб — до 0,6 м. Местами у подножий гор встречаются конусы выносов, иногда сливающиеся в одну полосу, сложенные скоплением обломков и щебня с супесчаным заполнителем. С поверхности до глубины 1—1,5 м здесь залегают макропористые супеси. Мощность отложений в верхней и средней частях склонов гор обычно не превышает 1—2 м, лишь у подножия горных склонов возрастает до 3—5, реже 30 м. Физико-механические свойства некоторых разностей элювиально-делювиальных отложений приведены в табл. 80. Угол внутрен-

Таблица 79

Физико-механические показатели пирокластических отложений

Породы, в скобках количество образцов	Место отбора проб	Плотность, г/см³	Объемная масса, г/см³	Пористость, %	Коэффициент пористости	Естественная влажность, %	Пластичность		
							предел текучести	предел раскатывания	число пластичности
Вулканический шлак (72)	гора Шлаковая	2,8—2,9	0,6—1,3	35—76	—	—	—	—	—
Лахаровые отложения (1)	район вулкана Крашенинникова	2,75	1,9	45	0,8	25	—	—	—
Лахаровые отложения (15)	район Петропавловска-Камчатского	2,7—2,9	1,3—1,88	35—52	—	—	—	—	—
Вулканический пепел (10)	пос. Ключи	2,6—2,7	1,1—1,5	62—70	1,35—2,37	13—46	26—47	21—39	1—11
Вулканический пепел (1)	район оз. Халактырского	—	1,6	37	0,81	29	38	35	3
Переотложенные отложения									
Супесь (15)	район Петропавловска-Камчатского	2,58—2,7	1,57—1,7	49—67	0,9—1,8	30—131	11—40	5—38	2—6
Суглинок (3)	то же	2,26—2,72	1,68—1,78	54—78	1,1—3,6	42—122	37—42	28—32	9—10
Песок									
гравелистый (13)	»	2,69	1,7—2	28—36	0,42—0,57	6—8	—	—	—
крупный (5)	»	2,68	1,53—1,79	43	—	32—36	—	—	—
средний (11)	»	2,69—2,7	1,46	45—46	—	17—95	—	—	—
мелкий (6)	»	2,68—2,7	1,49—1,63	39—44	—	29—121	—	—	—

Таблица 80

Физико-механические свойства элювиально-делювиальных отложений

Грунт, в скобках количество образцов	Место отбора пробы	Плотность, г/см³	Объемная масса, г/см³	Естественная влажность, %	Пористость, %	Коэффициент пористости	Пластичность			Консистенция	Сцепление, 10^5Па
							предел текучести	предел раскатывания	число пластичности		
Супесь макропористая (5)	пос. Елизово	—	—	50—60	—	—	47—56	42—53	2,7—5,6	0,25—1	—
Супесь с дресвой и щебнем (9)	район Авачинской губы	2,63—2,67	1,7—2,3	10—30	21—35	0,3—0,9	22—30	15—26	3—6	0—1	0,03—1
Супесь (6)	с. Палана	2,42—2,66	1,67—1,99	14,2—40,7	22,8—54,1	0,22—1,18	24,1—49,2	20,2—45,2	2,5—6,8	0—1	—
Супесь пылеватая (15)	то же	2,46—2,66	1,75—1,91	17,6—23,5	39—51	0,68—1,06	27,4—45,5	23—40,7	4,1—7	0—0,8	0,45—0,94
Супесь с дресвой и щебнем (1)	Малетойваямское серное месторождение	2,79	1,92	18,2	—	0,736	33,8	28,1	5,7	1,74	—
Суглинок с дресвой и щебнем (20)	район Авачинской губы	2,64	1,8—2,2	21—23	29—32	0,4	25—38	18—29	7—14	0—0,5	0,05—0,25
Суглинок пылеватый (7)	с. Палана	2,44—2,63	1,77—1,97	23,4—49,4	42—60	0,73—1,91	32,9—56,6	24,1—43	8,8—13,6	0—0,13	0,3—0,36
Песок с дресвой и щебнем (2)	то же	2,58—2,64	1,76	18,8—24,1	43	0,75	—	—	—	—	—
Песок с дресвой и щебнем (11)	пос. Елизово	2,62—2,72	1,7—1,89	12—20	38—44	0,6—0,8	—	—	—	—	—
Дресва и щебень с суглинистым заполнителем (23)	район Авачинской губы	2,58—2,64	2,06—2,2	10—17	25—31	0,3—0,46	25—32	15—24	8—10	0	0,15—0,42
Щебнистый грунт (5)	с. Палана	2,64—2,66	2,05—2,11	27,2—31,7	34,2—41,7	0,52—0,72	—	—	—	—	—

Примечание. Пределы пластичности даны для заполнителя.

него трения супесей с дресвой и щебнем в районе Авачинской губы 14—24°, суглинков с дресвой и щебнем — 11—27°, дресвы и щебня с суглинистым заполнителем — 22—24°. Коэффициент внутреннего трения в районе Авачинской губы для суглинков с дресвой и щебнем 0,17—0,44, для дресвы и щебня с суглинистым заполнителем — 0,404. Угол естественного откоса для песков с дресвой и щебнем в пос. Елизово 34—42° в сухом состоянии, 28—37° под водой, в пос. Палана соответственно 28—40 и 32—35°. Для супесей с дресвой и щебнем модуль деформации на Малетойваямском месторождении $127 \cdot 10^5$ Па, в районе Авачинской губы — $160 \cdot 10^5$—$240 \cdot 10^5$ Па, для суглинков — $270 \cdot 10^5$ Па, для дресвы и щебня с суглинистым заполнителем модуль деформации равен $340 \cdot 10^5$ Па. Нормативное давление от $1 \cdot 10^5$ Па для супесей до $3 \cdot 10^5$—$4 \cdot 10^5$ Па для дресвы и щебня. Макропористые супеси не могут служить основанием для сооружения.

Характерными физико-механическими свойствами обладают склоновые отложения в северной части региона (Олюторский прогиб), в зоне развития прерывистой мерзлоты. Здесь на относительно пологих склонах гор и у их подножия развиты солифлюкционные террасы или шлейфы, сложенные более тонким материалом — суглинками, супесями, иногда песками со щебнем и дресвой (до 30%), реже дресвяно-щебнистым материалом с супесчаным или суглинистым заполнителем. Обломочный материал имеет некоторую окатанность и сортировку. Породы находятся в мерзлом состоянии, лед содержится в виде небольших линз и прослоек. Льдистость на пологих склонах, у подножий и в межгорных котловинах 20—30%, иногда достигает 50%, на крутых склонах не превышает 10—15%. Мощность сезоннопротаивающего слоя 0,5—1,5 м, редко до 2,5—3 м. В летний период эти отложения часто находятся в текучем состоянии.

По данным лабораторных испытаний, проводившихся в 1969 г. на Малетойваямском месторождении, суглинки и супеси с включением до 5% и более дресвы по коэффициенту водонасыщения более 0,6 и показателю просадочности более 0,1 относятся к просадочным, пластичным, среднесжимаемым (коэффициент сжимаемости $0{,}01 \cdot 10^{-5}$ $Па^{-1}$), слабоводостойким. Рекомендуемый угол естественного откоса 15—20°. Таким образом, породы северной части региона не надежны как основания под сооружения ввиду неравномерной осадки при оттаивании, просадочности, способности к подвижкам и тиксотропности суглинистых и супесчаных разностей.

Болотные голоценовые отложения широко развиты на западном побережье Камчатки, где протягиваются почти сплошной полосой шириной от 5 до 50 км вдоль Охотского побережья. Небольшие массивы болот развиты почти по всем долинам рек Камчатки, а также в различных ее частях на плоских водоразделах и в межгорных понижениях. Торф различной степени разложения, увеличивающейся с глубиной. В торфяниках часто встречаются минеральные примеси в виде тонких прослоев мощностью 0,01—0,1 м, реже до 0,5—1 м суглинка, вулканического пепла, супеси, песка и даже галечников. Мощность болотных отложений изменяется от 0,5 до 6 м, редко достигает 10 м.

Гидрогеологические условия

В горных районах наиболее развиты трещинные грунтовые воды, приуроченные к региональной зоне выветривания скальных пород мощностью от 30 до 100 м и более. Вершины гор и верхние части склонов,

как правило, плохо дренированы. В нижних частях склонов вода залегает на глубине нескольких метров, мощность горизонта достигает десятков метров. Дебиты родников из метаморфизованных пород домелового возраста не превышают 1 л/с, для остальных пород могут достигать 10 л/с и более. Коэффициенты фильтрации метаморфических пород на глубинах до 25—40 м составляют 0,5—2,7 м/сут, для остальных пород они колеблются от 7 до 50 м/сут в интервале глубин 5—20 м и от 0,1 до 0,8 м/сут — ниже 30—60 м. В зонах тектонических нарушений притоки в выработки могут достигать первых сотен кубических метров в час.

Своеобразны условия обводнения вулканогенных пород в пределах плато и у подножий вулканов. Здесь имеется система водоносных горизонтов трещинных вод, как напорных, так и безнапорных, со сложной гидравлической связью между ними. Отдельные наиболее трещиноватые лавовые пласты играют роль естественных дрен. К ним приурочены подземные потоки протяженностью до 15 км с огромными запасами воды. Дебиты родников превышают десятки, а иногда и сотни метров в секунду. Удельные дебиты скважин достигают 20 л/с, коэффициент фильтрации — 100—150 м/сут. Глубина залегания подземных вод изменяется от 1—5 м у подножий вулканов и в центральных частях платообразных возвышенностей до 40—60 м и более на склонах и периферических участках расчлененных плато. У подножий и на склонах вулканов в рыхлых и слабо сцементированных пирокластических отложениях заключены поровые безнапорные и напорные воды, залегающие на глубине от 0,5 до 40 м. Удельные дебиты скважин колеблются от 0,1 до 5 л/с.

В верхних и средних частях склонов гор, в делювиальных отложениях отмечается верховодка мощностью 1—1,5 м. С ней связаны родники, «блуждающие» по склону в теплое время года и исчезающие зимой. В долинах рек развиты грунтовые воды аллювиальных и флювиогляциальных отложений. Воды залегают на глубине от 0,1—2 м в тыловых частях террас до 10—15 м и более у их уступов. Притоки в выработки, заложенные в долинах рек, измеряются десятками кубических метров в час. В межгорных долинах и на участках приморских равнин подземные воды залегают на глубине от 2 до 50 м. Здесь наряду с горизонтом грунтовых вод встречается до 5—7 горизонтов напорных вод. Последние могут быть вскрыты с глубины 10—30 м.

Воды горных областей характеризуются преимущественно весьма слабой минерализацией, не превышающей 200 мг/л. Воды гидрокарбонатные или хлоридно-гидрокарбонатные, кальциево-натриевые, мягкие, со слабокислой или нейтральной реакцией (pH около 7), обладают гидрокарбонатной или углекислотной агрессивностью. К некоторым зонам разломов приурочены термальные минерализованные воды с температурой до 100° и более (пароводяные высоконапорные смеси).

В пределах Западно-Камчатской и Центрально-Камчатской равнин широко развиты грунтовые воды порового типа. Преобладающая глубина их залегания 4—10 м. Наиболее близко от поверхности воды залегают на междуречьях и в тыловых частях речных террас, наиболее глубоко (на 15—30 м) — вблизи бровок террас и на повышениях волнистой равнины. Дебиты родников, как правило, не превышают 5—10 л/с. Водопритоки в выработке глубиной до 6 м составляют около 10—15 м/ч, притоки в котлованы — от 6,5 до 50 м^3/ч. Наибольшие притоки в котлованы характерны для низких речных террас. Коэффициенты фильтрации аллювиальных отложений изменяются от 10—16 м/сут для песков до 100—200 м/сут для галечников.

В пределах плоских междуречий широко развита верховодка. Питание ее осуществляется за счет атмосферных осадков и подтока вод из болот, глубина стояния воды от 0,1 до 1,5 м.

С глубины 20—60 м в четвертичных и палеоген-неогеновых породах встречены напорные горизонты порово-пластовых и трещинно-пластовых вод. Пьезометрический уровень в скважинах устанавливается на глубине 0,9—5,7 м, иногда и выше поверхности земли. Дебиты скважин достигали 10—20 л/с при самоизливе.

Грунтовые воды пресные, с минерализацией до 300 мг/л, гидрокарбонатно-хлоридные, натриево-кальциевые, мягкие, с реакцией слабокислой до нейтральной, обладают гидрокарбонатной агрессивностью. Вблизи морского побережья, в полосе шириной 200—500 м, воды обогащены хлором и натрием, и минерализация их достигает 600 мг/л, с глубиной минерализация вод увеличивается до 1 г/л.

Современные геологические процессы и явления

В регионе широко проявляют себя вулканизм, землетрясения, цунами, подмыв морских берегов, снежные лавины и на локальных участках перевеваемые пески, оползни и др. В Олюторском районе и на севере Камчатки развиты процессы, связанные с наличием многолетнемерзлых пород. На Камчатке находится 28 действующих вулканов, а на Курильских островах — 40. Слабые извержения наблюдаются почти каждый год, сильные — один раз в несколько лет, катастрофические — не более одного раза в 50—60 лет. Периодичности извержений не отмечается. Например, считавшийся потухшим вулкан Безымянный проявляет значительную активность с 1956 г.; в 1973 г. зафиксировано крупное извержение вулкана Тятя на о. Кунашир, бездействовавшего с 1812 г. Наиболее опасными следует считать эксплозивные извержения, составляющие около 75% общего числа зарегистрированных. Крупным эксплозивным извержениям, поражающим площадь до 500 км^2, довольно часто сопутствуют грязевые и водные потоки. Так, грязевой поток при извержении вулкана Безымянный достиг 80—85 км. В его осевой части были снесены деревья, десятки телеграфных столбов и др. Мощность грязевых нагромождений с заключенными в них отдельными глыбами объемом в десятки кубических метров достигала 20 м. Часто извержения сопровождают выбросы вулканических песков и пеплов, объемы которых при катастрофических извержениях достигают 1—2 км^3 и более, могут засыпать дома, сады, пашни. Непосредственную угрозу представляют лавовые потоки, которые могут изливаться как из центрального, так и боковых кратеров. Длина большинства лавовых потоков вулканов Курило-Камчатской дуги не превышает 5—7 км. Более длинные потоки отмечались у вулканов Плоский Толбачик (40 км), боковых кратеров вулкана Ключевской — Билюкай (16 км, 1938 г.). Скорость движения лавовых потоков не превышает обычно 1 км/сут, а температура лавы достигает 1100—1200°. В целом же радиус условно опасной зоны (без учета грязевых и водных потоков), в зависимости от типа извержений, составляет от 15 до 50 км. Общая площадь зон, опасных при извержениях, составляет для Камчатки 18 228 км^2, а для островов Большой Курильской дуги — 5023 км^2 (Мархинин и др., 1962).

Камчатка и Курильские острова входят в состав наиболее сейсмически активного Тихоокеанского пояса. На регион, по данным Совета сейсмологии АН СССР, приходится около 80% сейсмической энергии,

выделяющейся в пределах Советского Союза. По данным А. В. Горячева, Н. В. Кондорской, С. А. Федотова и др. (1968), регион входит в зоны от 6- до 10-балльных землетрясений. Землетрясения силой 6—7 баллов происходят в регионе через каждые 6—10 лет, а менее сильные — по нескольку раз в год (Быховский и др., 1961). Землетрясения силой более 7 баллов бывают значительно реже. Одни из самых сильных последних землетрясений на Камчатке наблюдались 4 мая 1959 г. и 25 ноября 1971 г. и оценивались в районе Петропавловска-Камчатского силой до 8 баллов, а 18 июня 1959 г. в районе с. Жупаново — до 9 баллов. В результате этих землетрясений в Петропавловске-Камчатском и ряде других населенных пунктов восточного побережья (поселки Жупаново, Усть-Камчатск и др.) получили серьезные повреждения и были разрушены здания, произошли обвалы, отмечались камнепады и осыпи с крутых склонов. В бухте Вилючинская сошли снежные лавины. На почвенном покрове появились местами трещины шириной от 3 до 50 см и длиной до нескольких десятков и даже сотен метров. У подножия Корякского вулкана из образовавшихся трещин били фонтаны воды (Горячев, 1960; Черемных, 1960). Местами наблюдалось повышение уровня воды в колодцах и появление новых родников, а из некоторых колодцев, наоборот, совсем ушла вода. На несколько дней исчезла вода и в отдельных термальных родниках. Аналогичные явления наблюдались на о. Итуруп при землетрясении 7 ноября 1958 г.

Сотрудниками Института физики Земли АН СССР в 1963 г. было проведено инженерно-геологическое сейсмическое микрорайонирование территории Петропавловска-Камчатского, отражающее зависимость степени возможных разрушений от положения строительных объектов в рельефе и от характера грунтов их оснований. Наиболее опасны в сейсмическом отношении участки, сложенные насыпными или намывными грунтами, морские пляжи, днища речек и ручьев с падением от 10—15° в верховьях до 5° в устьях, сложенные песками, часто илистыми. Здесь при залегании грунтовых вод на глубине менее 2 м приращение сейсмической активности достигает 2 баллов. Приращением активности до 1 балла характеризуются участки крутых и обрывистых горных склонов, а также при близком залегании грунтовых вод (до 3 м) пологие склоны и равнинные участки, сложенные с поверхности щебнистыми суглинками, пойма и надпойменная терраса, сложенные гравийно-галечными песками, с поверхности заторфованными. Эта зависимость в какой-то мере применима и для оценки аналогичных участков всего региона.

По сведениям С. Л. Соловьева и М. Д. Ферчева (1961) и более поздним данным, у берегов Камчатки и Курильских островов в период с 1737 по 1973 г. было зафиксировано около 35 цунами, из них катастрофических—3 (1737, 1923 и 1952 гг.). Цунами захватывали обычно только отдельные участки побережья протяженностью до 100—400 км. Максимальная высота некоторых цунами местами достигала 10—20 м, редко 30 м. Всего обычно насчитывалось от 3 до 9 волн. Скорость продвижения цунами, зависящая от глубины океана, достигала 400—720 км/ч. Характерной чертой большинства крупных цунами являлось отступание океана на сотни и даже тысячи метров от берега, длившееся от 5 до 35 мин. Чем дальше отступал океан, тем большей силой обладали цунами. По данным П. А. Каплина и А. С. Ионина (1961), наибольшие разрушения цунами могут принести в пределах низменных аккумулятивных участков побережья, а также в вершинах сужающихся бухт с широким открытым входом. Практически не подвергаются подтоплению цунами высокие вулканические, абразионные и

абразионно-денудационные берега и берега кратерных бухт типа Авачинской губы, имеющие узкие и сравнительно мелководные входы. По данным С. Л. Соловьева (1971), цунами с максимальной высотой волн более 23 м в среднем могут происходить через 100—200 лет, высотой от 8 до 23 м — через 50—100 лет, высотой 3—8 м — через 20—30 лет, высотой 1,3—3 м — через 10—15 лет и высотой 0,6—1,3 м — через 5—10 лет.

Подмыв морских берегов весьма интенсивно протекает в пределах юго-восточного побережья Камчатки и на Курильских островах на выступающих участках берега и мысах. Например, берег п-ова Шипунского на участке от м. Шипунского до бухты Железная за 10 лет отступил в среднем на 50 м при высоте береговых обрывов 150—200 м. А в заливе, расположенном к северу от бухты Алеутская, за этот же срок абрадировано 80 м берега. В пределах Охотского побережья Камчатки размыву подвергается выпуклый отрезок береговой линии от устья р. Опалы на юге до устья р. Крутогоровой на севере (Владимиров, 1961). Песчано-гравийно-галечная пересыпь высотой 5—10 м и шириной 100—400 м, отделяющая от моря лагуну р. Воровской, сократилась в результате морской абразии с 1949 по 1960 г. на 50—60 м. Во время 9-балльного шторма в ноябре 1955 г. было зафиксировано отступание берега пересыпи на 4—5 м за одни сутки. Средняя скорость смещения к востоку выпуклой части берега Охотского моря 0,5—1 м, реже до 2—3 м в год.

Снежные лавины характерны для горной части региона. На Камчатке, в Корякском нагорье, в группе северных Курильских островов (Парамушир, Онекотан и др.) отмечены различные лавины: обвалы (осовы), лотковые, реже прыгающие. Наблюдаются они в течение всего зимне-весеннего периода, а на вулканах Камчатки даже в летнее время. Лавины из сухого снега сходят обычно в декабре — марте, а мокрого — в апреле — июне. Фронт лавин достигает 0,1—1 км, а высота — 20 м. Они спускаются вниз по склону на расстояние до 0,2—0,8 км и более. Снежные лавины бывают на склонах гор различной экспозиции (главным образом южных румбов), крутизной более 22°. Скорость движения лавин достигает 15—20 м/с. В пределах Срединного хребта лавины зафиксированы в верховьях рек Андриановки, Облуковиной, Колпаковой и др. На восточном побережье Камчатки крупные лавины в бухте Вилючинская, на полуостровах Шипунский (в бухте Моржовая) и Камчатский Мыс. Более мелкие лавины известны в районе Петропавловска-Камчатского, в горах южной Камчатки, в долинах рек Банной, Карымской, Саранной и др. Лавины ежегодно отмечаются на западном склоне хр. Кумроч. Наблюдались снежные лавины и в районе Ключевской группы вулканов. На крутых склонах морских террас о. Парамушир в декабре 1959—1962 гг. сходили огромные снежные осовы. Ширина их фронта достигала 1 км, а высота была не менее 20 м.

Перевевающиеся пески отмечаются на побережье крупных островов Курильской гряды (Итуруп, Парамушир, Шумшу и др.) и на небольших участках Охотского побережья Камчатки. Перевеваются главным образом дюнные пески, развитые на небольших по длине участках берега в полосе шириной до 1,5 км при высоте дюн до 20 м. При этом иногда образуются глубокие котловины выдувания с крутыми стенками диаметром до 50 м (о. Шикотан). Перевеваемые пески «сухих» рек зафиксированы у западного подножия Ключевской группы вулканов.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ШЕЛЬФОВ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ И СЕВЕРНЫХ МОРЕЙ

В настоящее время сравнительно хорошо изучены инженерно-геологические условия мелководной части шельфа Японского моря, особенно его южной части, где расположен ряд больших портов (Владивосток, Находка). Инженерно-геологические условия остальных дальневосточных и северных морей изучены значительно слабее. В соответствии с этим основное внимание в дальнейшем изложении уделено описанию шельфа Японского моря и только весьма бегло рассматриваются шельфы других морей.

ШЕЛЬФ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Прибрежная отмель, или шельф, прослеживается вдоль всего берега Японского моря и опоясывает узкой полосой о. Сахалин и другие более мелкие острова. Для прибрежной части шельфа шириной от 1,7 до 22,9 км (в среднем 3 км) характерно довольно резкое погружение дна моря до глубины 50—100 м с уклоном от 30′ до 2° (Липкин, Чун, 1973). Поверхность шельфа здесь неровная, осложненная реликтовыми формами континентального происхождения, в частности затопленными и частично погребенными речными долинами. Далее в сторону открытого моря прослеживается ровная, почти горизонтальная поверхность, сформировавшаяся в результате длительных процессов морского осадконакопления. Такое строение шельфа особенно характерно для его континентальной части, у островных шельфов внешняя часть выражена менее четко или отсутствует полностью. Внешний край шельфа фиксируется на глубинах 130—140 м, изредка до 200 м под уровнем моря, т. е. на изобатах, характерных для ограничения шельфа в других районах земного шара. В сглаженной форме граница шельфа повторяет конфигурацию береговой линии. В средней части Татарского пролива континентальный шельф сливается с шельфом о. Сахалина. Здесь его ширина достигает 40—50 км. Южнее (до м. Поворотного) ширина шельфа 16—20 км, в пределах зал. Петра Великого она возрастает до 90—100 км, в районе р. Туманной вновь сокращается до 8—10 км. Ширина шельфа у Сахалина изменяется от 10 до 70 км (Липкин, 1973). Уклоны в большинстве случаев не превышают 10—30′ и лишь местами достигают 2°. В сторону открытого моря шельф переходит в континентальный склон, резко уходящий на глубины до 2—3 км. Уклоны континентального склона достигают 20°, поверхность прорезана многочисленными каньонами.

Береговая линия, ограничивающая шельф со стороны континента, в северо-восточной части побережья изрезана сравнительно слабо и относится к абразионно-бухтовому типу, в юго-западной части — к риасовому в зрелой стадии развития. Высокие обрывистые берега прерываются здесь заливами и бухтами эрозионного (устья затопленных речных долин) и эрозионно-тектонического происхождения. Наиболее сильно береговая линия изрезана западнее м. Поворотного (зал. Петра Великого), где она идет вкрест простирания основных тектонических структур.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Шельф Японского моря расположен в пределах Сихотэ-Алинской складчатой области. Коренной цоколь шельфа сложен палеозойскими и мезозойскими геосинклинальными отложениями, представленными в основном алевролитами, песчаниками, гравелитами, различными эффузивами и их туфами. Осадочные породы прорваны интрузиями преимущественно кислого состава. Во внешней части шельфа палеозойские и мезозойские породы уходят под толщу недислоцированных терригенных осадков верхнего палеогена и неогена. Особенности строения толщи рыхлых четвертичных отложений, слагающих верхнюю часть разреза, связаны с историей формирования шельфа в неотектоническую фазу его развития.

Согласно точке зрения (Берсенев, 1963; Короткий, 1970 и др.), разделяемой авторами главы, уровень моря в течение всего плейстоцена не поднимался существенно выше современных отметок и вся мелководная часть шельфа представляла собой прибрежную аккумулятивную равнину. Судя по спорово-пыльцевым спектрам, формирование континентальных толщ происходило в условиях неоднократных смен похолоданий и потеплений. В периоды потеплений и поднятий уровня моря происходило формирование кор выветривания, в периоды похолоданий и регрессий — оживление эрозии и их разрушение.

В позднем плейстоцене начинается постепенное повышение уровня моря, имевшее прерывистый характер. Своего максимума (+5 м) трансгрессия достигла в конце среднего голоцена (Карасунова и др., 1971). Наступление моря вызвало вначале затопление, а затем захоронение под толщей морских осадков сложившихся форм рельефа и континентальных отложений.

Поздний голоцен ознаменовался новой, небольшой по амплитуде регрессией, сопровождавшейся формированием уступа морской террасы высотой 3—5 м (Власов, 1957; Короткий, 1970; Лерберг, 1970 и др.) и частичным осушением морских лиманов в устьевых частях речных долин.

В соответствии с основными этапами развития шельфа в четвертичное время находится и строение покрывающей его толщи четвертичных отложений. Разрез начинается корой выветривания, формирование которой, по-видимому, завершилось в теплые фазы раннего и среднего плейстоцена. Наибольшей мощности (30—50 м) кора выветривания достигает на гранитоидах пермского и позднемелового возраста. Разрез коры выветривания на гранитоидах начинается сапролитом — породой, претерпевшей глубокое химическое преобразование, обогащенной вторичными глинистыми минералами — каолинитом и гидрослюдами и отвечающей по составу супесям или суглинкам. От этих рыхлых пород она отличается сохранившимися в той или иной степени первичными структурными связями и повышенной прочностью. С глубиной сапролит переходит в «рухляк» — породу также интенсивно измененную выветриванием, а затем в «разборную скалу», где порода относительно прочная, но разбитая трещинами на отдельные блоки. Полный профиль коры выветривания сохранился на шельфе только в отдельных пунктах (бухта Киевка), в большинстве же мест верхняя часть коры выветривания уничтожена денудацией. Физико-механические свойства верхней части были изучены на меловых гранитах в бухте Врангеля (Ярг, 1972). Плотность сапролита 2,77 г/см^3; объемная масса влажного грунта 2,05 г/см^3; объемная масса скелета 1,87 г/см^3; коэффициент пористо-

сти 0,56. Показатели сопротивления сдвигу получены в лабораторных условиях: угол внутреннего трения 28°, сцепление—$0{,}15 \cdot 10^5$ Па; в полевых условиях — угол внутреннего трения 29—32°, сцепление $0{,}3 \cdot 10^5$—$0{,}7 \cdot 10^5$ Па. Модуль общей деформации определен динамическим зондированием ($300 \cdot 10^5$—$600 \cdot 10^5$ Па).

Строение вышележащей толщи четвертичных отложений зависит от характера береговой линии. В закрытых бухтах, представляющих собой, как правило, затопленные устьевые части речных долин, в осевых частях на размытой кровле коры выветривания обычно залегают аллювиальные осадки нормального двухслойного строения или делювиально-пролювиальные отложения. Русловая фация аллювия представлена плохо отсортированными галечниками и песками с прослоями супесей и суглинков, пойменная — довольно выдержанными по простиранию и мощности пестрыми суглинками и супесями с высоким содержанием органики и многочисленными прослоями и линзами торфа. Общая мощность аллювия изменяется от нескольких метров до 5—20 м.

Отложения пойменной фации аллювия изучены только в бухте Врангеля, где они представлены преимущественно суглинками, заторфованными, с растительными остатками. Средние значения показателей физико-механических свойств суглинков: плотность 2,69 г/см³; объемная масса 1,98 г/см³; коэффициент пористости 0,721; естественная влажность 24,6%; число пластичности 11,6 (40 определений); сцепление $0{,}28 \cdot 10^5$ Па; угол внутреннего трения 19°. Местами аллювиальные отложения перекрываются аллювиально-лагунными, весьма близкими по составу и свойствам к пойменным. Физические свойства глинистых пород аллювиально-лагунного генезиса приведены в табл. 81. Из табли-

Таблица 81

Физические свойства глинистых пород аллювиально-лагунного генезиса

Показатели	Суглинки				Супеси			
	число определений	среднее арифметическое значение	стандартное отклонение	коэффициент изменчивости, %	число определений	среднее арифметическое значение	стандартное отклонение	коэффициент изменчивости, %
Плотность, г/см³	342	2,69	0,05	2	72	2,69	0,02	0,74
Объемная масса, г/см³	342	2,04	0,09	4,2	70	2,13	0,07	5,28
Коэффициент пористости	331	0,62	0,12	18,9	70	0,47	0,09	19,1
Естественная влажность, %	360	22,39	5,32	23,7	76	16,9	3,4	20,1
Предел текучести, %	357	31	6,53	21,06	77	21,35	5,4	25,31
Предел раскатывания, %	360	19,68	4,03	20,4	77	16,5	2,5	15,1
Число пластичности	357	11,16	2,68	24	77	4,85	1,6	32,9
Степень влажности	303	0,96	0,06	6,4	66	0,92	0,07	7,6

цы видно, что глинистые породы аллювиально-лагунного генезиса представлены в основном суглинками (около 30% всех определений), реже супесями, тугопластичной или пластичной консистенции. О значительной уплотненности пород свидетельствуют их высокая объемная масса (2,04 г/см³) и невысокий коэффициент пористости (0,62). Средние значения показателей сопротивления сдвигу (32 определения): у суглинков угол внутреннего трения 21°, сцепление $0{,}22 \cdot 10^5$ Па; у супесей соответственно 25° и $0{,}34 \cdot 10^5$ Па. В толще аллювиально-лагунных отложений нередко встречаются линзы и прослои торфа, что снижает их несущую способность.

В бортовых частях бухт аллювиальные отложения замещаются отложениями склонового ряда (делювиальными, делювиально-гравитационными, смешанными), представленными красно-бурыми суглинками (85% определений) и супесями (15% определений) с различным содержанием грубообломочного материала или дресвяно-щебнистыми отложениями с суглинистым заполнителем. Характерные значения показателей физических свойств пород этого типа приведены в табл. 82. Как

Таблица 82

Физические свойства глинистых пород делювиального генезиса

Показатели	Суглинки				Супеси			
	число определений	среднее арифметическое значение	среднее квадратичное отклонение	коэффициент изменчивости, %	число определений	среднее арифметическое значение	среднее квадратичное отклонение	коэффициент изменчивости, %
Плотность, г/см³	510	2,71	0,03	1,34	100	2,71	0,03	1,1
Объемная масса, г/см³	500	2,06	0,07	3,4	94	2,13	0,1	4,7
Коэффициент пористости	471	0,59	0,1	17,3	95	0,49	0,1	20,4
Естественная влажность, %	530	20,24	3,79	18,7	95	16,1	3,29	20,3
Предел текучести, %	573	29,28	7,7	26,3	109	23,69	1,39	24,5
Предел раскатывания, %	573	19,18	3	16	109	18,1	3	16,5
Число пластичности	573	10,1	2,56	25	109	5,59	1,4	25
Степень влажности	390	0,9	0,06	7	86	0,9	0,07	7,8

видно из приведенных данных, эти породы твердой или полутвердой консистенции и характеризуются высокой плотностью (2,06—2,13 г/см³) с коэффициентом пористости 0,49—0,59. Показатели сопротивления сдвигу (150 определений): у суглинков угол внутреннего трения 25°, сцепление $0{,}21 \cdot 10^5$ Па; у супесей соответственно 28° и $0{,}26 \cdot 10^5$ Па.

Следует отметить, что все континентальные отложения, погруженные под уровень моря, сохранили свои свойства почти без изменений, о чем свидетельствуют результаты сравнения свойств одних и тех же типов пород, распространенных на шельфе и в прибрежной полосе континента.

Разрез четвертичных отложений завершается толщей морских голоценовых осадков. На открытых участках побережья они ложатся непосредственно на кору выветривания и представлены песками, постепенно переходящими в сторону открытого моря в алевритовые и пелитовые илы. В закрытых и полузакрытых бухтах это преимущественно илы Они выполняют также устьевые части долин многих рек, впадающих в Японское море. Кровля илов лежит на отметках, превышающих на 2—3 м современный уровень моря. Илы отложились в течение последней голоценовой трансгрессии и мало изменены процессами диагенеза. Мощность их в закрытых и полузакрытых бухтах от 15 м (бухта Врангеля) до 35 м (бухта Находка и Амурский залив). Гранулометрический состав илов довольно изменчив. Среднее содержание песчаной фракции по бухтам Золотой Рог, Находка и Славянка колеблется от 26,6 до 40,7%, пылеватой—от 26,5 до 44,8% и глинистой—от 58,2 до 66,9%. Данные о физических свойствах приведены в табл. 83. По гранулометрическому составу и по числу пластичности илы изменяются в широких пределах — от супесей до глин, но в большинстве случаев относятся к суглинкам. Более тяжелые разности илов приурочены к центральным частям бухт, более легкие — к прибрежным. На

Таблица 83

Физические свойства илов

Показатели	Число определений	Пределы значений	Среднеквадратичное отклонение	Коэффициент изменчивости, %
Плотность, г/см³	68	2,45—2,77	0,07	2,5
Объемная масса, г/см³	66	1,45—1,98	0,14	8
Коэффициент пористости	65	0,99—2,24	0,36	27,5
Естественная влажность, %	81	32,4—90,04	14,62	31,2
Предел текучести, %	83	26,4—50,3	9,74	25,63
Предел раскатывания, %	83	14—35,9	4,27	18
Число пластичности	83	2,6—23,8	4,2	30
Степень влажности	47	0,88—1,07	0,04	4

составе илов сказывается также близость водотоков, распределение и характер течений и другие факторы. Поэтому пространственные закономерности изменения свойств илов оказываются весьма сложными и могут быть изучены только при детальных работах в пределах отдельных акваторий. Влажность илов, особенно в верхней части разреза, как правило, заметно превышает значения предела текучести (скрытотекучая консистенция), но наличие структурных связей придает им известную прочность. Илы являются сильносжимаемым слабым основанием. К этому следует добавить, что они весьма чувствительны к динамическим нагрузкам. В связи с этим на участках распространения илов строительство ведется с применением свайных или шпунтовых оснований с передачей основной части нагрузки на подстилающие плотные породы.

Современные геологические процессы и явления

Высокие обрывистые берега, прослеживающиеся на большей части побережья Японского моря, с глыбовым навалом у подножий свидетельствуют об интенсивном разрушении берегов в период максимума голоценовой трансгрессии. Однако последующее снижение уровня моря вывело береговые уступы из зоны прибоя и резко снизило активность процессов абразии. Участки активного разрушения берегов сохранились только в пределах мысов, глубоко вдающихся в море. Деятельность волн в настоящее время сводится в основном к удалению продуктов разрушения, накапливающихся у подножий береговых уступов.

Значительно большей активностью характеризуются процессы субаэрального типа: выветривание, склоновые процессы, эрозия. Большая активность процессов выветривания объясняется некоторыми своеобразными особенностями климата Южного Приморья. В зимнее время здесь стоит ясная морозная погода с холодными ветрами северного и северо-западного направлений. В то же время чрезвычайно интенсивная инсоляция вызывает сильное прогревание склонов южной экспозиции. По данным А. А. Цвида (1956), они получают в зимнее время в два раза больше тепла, чем летом. Большие суточные перепады температур воздуха приводят к активному развитию морозного физического выветривания с образованием трещин и постепенной дезинтеграцией монолитных коренных пород. В летнее время Южное Приморье напоминает

влажные субтропики. Жаркая погода, высокая влажность воздуха способствуют интенсивному развитию химического и биохимического выветривания и быстрому разрушению обломочного материала, накопившегося на предыдущем этапе. Периодические ливни, часто выпадающие в Приморье летом, сносят продукты выветривания со склонов, возобновляя экспозицию коренных пород и их взаимодействие с агентами выветривания. С ливневыми дождями связано также интенсивное развитие струйчатой эрозии и оврагообразования.

ШЕЛЬФЫ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ, ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО И ЧУКОТСКОГО МОРЕЙ

Преобладающая глубина шельфа моря Лаптевых менее 50 м, Восточно-Сибирского моря менее 30 м, наиболее глубокого Чукотского моря в среднем 88 м. Даже вблизи берега глубина его достигает 30—50 м. Поверхность шельфов моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря представляет собой почти горизонтальную равнину с небольшим уклоном в сторону континентального склона. Во фронтальной части шельфа, начиная от изобаты 10—20 м, отчетливо вырисовываются продолжения долин всех крупных рек (Семенов, Шкатов, 1971), которые заканчиваются на континентальном склоне подводными каньонами. На поверхности равнины отмечаются отдельные холмы и гряды относительной высотой 5—12 м с пологими склонами и неглубокие котловины. Наиболее замкнутая впадина глубиной около 25 м находится в проливе Благовещенский. Шельф Чукотского моря более расчленен. Общий уклон поверхности его около 8. На дне Чукотского моря выделяется ряд впадин, наиболее крупная из которых — Чукотский желоб-каньон (Дибнер, 1972) глубиной до 70 м — проходит примерно по 175° з. д. К востоку от желоба располагается ряд холмов-банок высотой 20—30 м.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород

Шельф северных морей представляет собой в геоструктурном отношении часть эпимезозойской плиты. Инженерно-геологические свойства пород, образующих фундамент плиты на шельфе, не исследовались. Имеются только указания о том, что скорость распространения сейсмических волн для этих отложений, по-видимому, составляет 5,5—5,7 км/с (Деменицкая и др., 1972). Эти данные позволяют предполагать, что мезозоиды на дне моря представляют собой довольно прочные скальные и полускальные породы. Платформенный чехол плиты сложен терригенными и вулканогенными отложениями позднего мела и кайнозоя мощностью от 8 до 6 км. Максимальные мощности платформенных отложений отмечаются во впадинах, минимальные — на положительных структурах плиты. Среди отложений платформенного чехла поднятий преобладают континентальные фации, во впадинах и прогибах — морские.

Сводовый тип разреза чехла вскрыт скважинами в проливе Дмитрия Лаптева, у побережья о. Бол. Ляховского и в Ваикыпой губе. В прибрежной части пролива Дмитрия Лаптева развиты четвертичные прибрежно-морские и озерно-аллювиальные глинистые отложения с прослоями песков и галечников общей мощностью 8—20 м, залегающие

на маломощных неогеновых глинах коры выветривания мезозоид. Глинистые четвертичные отложения представлены преимущественно пластичными супесями с небольшим включением гравия и гальки. Пески (от пылеватых до крупных) и галечники образуют прослои мощностью 0,2—4,5 м, насыщены водой, обладают средней плотностью сложения, содержат значительную примесь глинистых частиц. Породы немерзлые, засоленные, с температурой в июне в придонной части около минус 1°. В западной части пролива мощность чехла увеличивается до 80 м и более за счет появления в разрезе неогеновых и, возможно, олигоценовых угленосных алевритово-глинистых отложений с прослоями песков и травийников. В прибрежной части Ванькиной губы на эоцен-олигоценовой коре выветривания мезозоид, представленной суглинками со щебнем мощностью 4—6 м, залегают аллювиальные суглинки миоценового возраста мощностью 20—30 м с большим количеством щебня, гальки, с включением растительных остатков. Выше залегают плиоцен-нижнеплейстоценовые морские супеси со значительной примесью щебня, гальки и гравия мощностью 8—10 м. Разрез донных отложений Ванькиной губы венчается толщей морских суглинков с галькой и щебнем средне-позднеплейстоценового и голоценового возраста мощностью 34 м.

В полосе шириной около 200 м от берега кайнозойские отложения в значительной своей части находятся в многолетнемерзлом состоянии. Породы обладают твердомерзлой консистенцией, массивной и корковой криогенными текстурами и льдистостью до нескольких процентов. Немерзлые суглинки коры выветривания характеризуются тугопластичной консистенцией. Талые аллювиальные миоценовые суглинки имеют консистенцию от твердой до мягкопластичной, талые плиоцен-нижнеплейстоценовые супеси — твердую, реже пластичную консистенцию. В табл. 84 приведены физико-механические свойства талых отложений

Таблица 84

Физико-механические свойства талых отложений со дна Ванькиной губы

Показатели	Суглинки N_2	Супеси N_2—Q_I	Суглинки $^mQ_{II-III}$
Плотность, г/см³	2,54—2,67	2,55—2,68	2,61—2,64
Объемная масса, г/см³	1,86—2,01	1,9—2,11	1,77—2,18
Объемная масса скелета, г/см³	1,49—1,63	1,51—1,91	1,49—1,98
Коэффициент пористости, %	0,61—0,74	0,4—0,7	0,31—0,74
Влажность весовая	22,2—25,2	10,7—19,7	14,7—19,7
Предел раскатывания, %	16,4—22,8	16,2—17,3	13,3—17,9
Предел текучести, %	23,9—31,7	21,8—23,8	21,2—28,7
Число пластичности	7,5—8,9	5,2—6,5	7,9—10,8
Показатель консистенции	0,27—0,75	—0,84, +0,46	0,18—0,59
Удельное сцепление, 10^5 Па	0,25—0,82	0,25—0,5	0,19—0,42
Угол внутреннего трения, градусы	18—21	21—22	17—24
Модуль общей деформации, 10^5 Па	150—220	160—550	130—400

со дна Ванькиной губы (единичные определения). Во впадинах и прогибах плиты уплотненные глинистые отложения, аналогичные описанным выше, обнаружены под слоем современных донных осадков (Семенов, 1965, 1971; Лапина и др., 1970). Мощность их 0,5—1,5 км (Деменицкая и др., 1972). Данные об их инженерно-геологических свойствах отсутствуют. Скорости распространения сейсмических волн в них 1,8—2,3 км/с.

Современные донные образования представлены главным образом глинистыми, в меньшей степени песчаными и гравийно-галечными отложениями. Гравийно-галечные отложения мощностью 1—2 м распространены в прибрежной полосе Чукотского моря у м. Шмидта и к востоку от него. Они хорошо отмыты, могут находиться в мерзлом состоянии, обладая массивной криогенной текстурой. Пески развиты узкой полосой по побережью Чукотского моря, у берегов островов Врангеля, Геральд, в приустьевых взморьях крупных рек, а также на мелководных банках Чукотского моря и моря Лаптевых. Мощность песков не превышает обычно 1 м, лишь в приустьевых частях крупных рек достигает 3—8 м. На малых глубинах пески гравелистые, на глубинах 40—50 м мелкие и пылеватые. Содержание органического вещества в песках не превышает 1%. С поверхности пески слабо уплотнены, пористость их около 50%, к подошве слоя она уменьшается до 35%, также уменьшается и влажность песков (с 37 до 16%) (Семенов, 1965). В прибрежной части пески подвергаются сезонному промерзанию, приобретая в зимнее время твердомерзлую консистенцию. Многолетнемерзлые пески распространены в приустьевых взморьях крупных рек, где они характеризуются суммарной влажностью 21—25%. Наряду со льдом-цементом в мерзлых породах отмечаются прослои и линзы льда толщиной от 1 до 20 м. Крупнообломочные и песчаные донные отложения мелководий с нарастанием глубин закономерно сменяются глинистыми осадками.

В приустьевых частях Яны, Индигирки и Колымы развиты супесчаные и суглинистые аллювиально-морские отложения мощностью более 20 м. В значительной своей части они находятся в многолетнемерзлом состоянии. Для этих отложений, по данным Н. Ф. Григорьева (1966), характерна в большинстве случаев твердомерзлая консистенция, слоистая, сетчатая, трещинная и лучевидная криогенные текстуры. Суммарная влажность пород 30—72%. В дельте Индигирки в этих отложениях отмечены повторно-жильные льды. Глинистые осадки, слагающие дно открытых акваторий морей, представлены голоценовыми илами. Наибольшая часть площади дна морей сложена супесчаными и суглинистыми илами. Наиболее глубоководные участки, приуроченные к фронтальной части шельфа, к желобам и глубоким впадинам, сложены глинистыми илами. Мощность голоценовых илов 0,2—3 м, в приустьевых частях крупных рек и в некоторых впадинах до 8 м, а возможно и более. Гранулометрический состав илов Восточно-Сибирского моря и моря Лаптевых приведен в табл. 85.

Таблица 85

Гранулометрический состав глинистых донных осадков морей Восточно-Сибирского и Лаптевых

Ил	Размер фракций						Количество определений
	крупнее 0,1	1,0—0,1	0,1—0,5	0,5—0,01	менее 0,01	менее 0,001	
Глинистый	0—5,81	0,2—10,07	1,69—15,42	7,43—36,49	50—90,54	19,6—28,7	143
Суглинистый	0—10,14	0,1—18,2	4,84—64,17	10,76—61,82	25,8—62,6	11,5—28	112
Супесчаный	0,2—25,5	22,18—49,3	28,2—67,59	18,4—69,6	5,3—28,4	4,8	101

Примечание. Фракции менее 0,001 мм определены только для 4 образцов глинистых илов, 15 образцов суглинистых илов и 2 образцов супесчаного ила.

Почти повсеместно в илах присутствует крупнообломочный материал. Содержание органических веществ в илах составляет 0,4—3%. Наибольшее содержание органического вещества отмечается на участках, подверженных влиянию крупных рек. Илы обладают текучей и скрытотекучей консистенцией, в верхнем (1—3 см) слое они находятся в полувзвешенном состоянии. Показатели некоторых физико-механических свойств илов приведены в табл. 86. Глинистый ил отбирался с глу-

Таблица 86

Физико-механические свойства илов

Показатели	Ил		
	глинистый (4 определения)	суглинистый (15 определений)	супесчаный (2 определения)
Плотность, г/см³	2,62—2,66	2,69—2,7	2,65—2,67
Объемная масса, г/см³:			
влажного грунта	1,48—1,75	1,6—1,99	1,35—1,95
скелета	0,75—1,14	0,93—1,54	0,72—1,42
Коэффициент пористости	1,37—2,55	0,94—1,9	0,85—6,69
Естественная влажность, %	51,1—95,9	28,7—71,5	36,8—87
Предел текучести, %	43,4—50,4	27—45	21—25,1
Предел раскатывания, %	26,2—28,8	15—30	15,5—20,4
Число пластичности	17,2—21,6	7,6—17	4,7—5,5
Показатель консистенции	1,39—2,1	1,14—3,21	3
Сцепление в естественном состоянии, 10^5 Па	0,014—0,056	0,015—0,095	не определялось
Сцепление в нарушенном состоянии, 10^5 Па	0,005—0,015	0,005—0,038	то же
Угол внутреннего трения*, градусы	2—3	3—7	»
Модуль общей деформации,** 10^5 Па	6,7—10	11,4—18,4	»
Коэффициент структурной прочности	2,6—8,9	2,3—8,5	»

* Углы внутреннего трения взяты по аналогии с илами Карского моря, имеющими идентичные и другие показатели.

** Модуль общей деформации рассчитан для нормальных нагрузок от 5 до 30 Н/см².

бины от 3 до 300 м из моря Лаптевых, суглинистый ил — с глубины 2—220 м из моря Лаптевых и Восточно-Сибирского, супесчаный ил отбирался с глубины 3—130 м у губы Пшеницина в море Лаптевых. Судя по величине коэффициента структурной прочности, суглинистые и глинистые илы обладают высокой, редко средней тиксотропной чувствительностью (Мельницкий, 1971).

Мерзлотно-гидрогеологические условия

Голоценовые донные осадки насыщены водой морского типа. Как правило (Неизвестнов, Семенов, 1973), минерализация поровых растворов превышает минерализацию придонных морских вод (табл. 87). Поровые воды голоценовых и более древних отложений в большинстве случаев обладают магнезиальной и сульфатной агрессивностью к бетону, высокой коррозионной активностью к металлам. Доголоценовые грунты обладают средней и низкой коррозионной активностью к металлам. Вблизи континентального побережья подземные воды могут быть неагрессивными к бетону.

Таблица 87

Место отбора пробы	Глубина моря, м	Минерализация поровых вод, г/л	Минерализация придонной морской воды, г/л
Море Лаптевых	19,1	34,5	24,7
То же	32	37,8	33,7
Восточно-Сибирское море	13	23,7	20,1
Чукотское море	69	55,6	32,6
То же	71	48,7	32,7

Температура замерзания отложений, слагающих дно морей, изменяется от минус 0,7—2,2° у континентального побережья до 2—3,2° и ниже на открытых акваториях и в районе островов. В приустьевых взморьях крупных рек значительная часть отложений характеризуется температурой замерзания около нуля. Наибольшее развитие мерзлая зона имеет на приустьевых частях Лены, Яны, Индигирки и Колымы. В устье Индигирки мерзлые породы под слоем воды 0,5—1,5 м распространились на расстояние около 20 км от края дельты. Мощность мерзлых пород у внешнего края придельтового мелководья шириной более 3 км составляет 0,7—6 м. По мере приближения к берегу она увеличивается от 100 м и более (Григорьев, 1966). В приустьевых взморьях площади многолетнемерзлых пород достигают тысяч квадратных километров. В заливе Ванькина губа мощность мерзлой зоны на пляже 150—200 м, в отдалении от берега на 210 м она составляет всего 16 м. Глубина залегания кровли мерзлых пород на этом участке меняется от 1,8 до 106 м (Жигаров, Плахт, 1973). В проливе Дмитрия Лаптева у высокого берега о. Бол. Ляховского многолетнемерзлые породы на дне не обнаружены. На южном берегу острова у урочища Малое Зимовье, где берег сложен в основном интенсивно разрушающимися подземными льдами, наличие мерзлых пород на дне прослежено на расстоянии 300 м от берега (Григорьев, 1966). Несомненно присутствие линз многолетнемерзлых грунтов на мелководных банках. Температура многолетнемерзлых пород в подошве слоя с годовыми теплооборотами на глубине 9—12 м составляет в Ванькиной губе от минус 5,8° у берега до минус 1,7° на удалении 60 м. В слое сезонных колебаний многолетнемерзлых пород, на подводном продолжении дельты р. Яны под слоем воды 0,4—0,7 м температура, зафиксированная в начале лета, составила —10,2°. В проливе Дмитрия Лаптева на глубине 4—6 м подо льдом отмечена минимальная температура —14,2° (Григорьев, 1966).

Современные геологические процессы и явления

В пределах шельфов происходят интенсивные вертикальные движения земной коры, скорость которых на современном этапе в ряде участков превышает 5 мм в год (Борисов, 1973). Особенно велика контрастность вертикальных движений в зонах, прилегающих к крупных разрывным нарушениям фундамента плиты, чем, по мнению И. А. Резанова (1964), объясняется повышенная сейсмичность этих зон, достигающая 7—8 баллов. К глубинным разломам приурочены эпицентры землетрясений. Сейсмичность участков, сложенных текучими илами мощностью

в несколько метров, подстилаемыми относительно плотными породами, видимо, должна увеличиваться на 0,5—1 балл по сравнению со средней. Особенно сейсмически опасны подобные участки при значительных уклонах поверхности дна. Во время землетрясений в подводных каньонах, прорезающих континентальный склон, возникают мутьевые потоки и подводные оползни.

Воздействие морских течений и волн на дно также во многом определяется характером вертикальных движений. На интенсивно поднимающихся участках действие течений и волн приводит к размыву осадков и выносу из них наиболее мелких фракций. В наибольшей степени этот процесс развит в приустьевых частях крупных рек и у интенсивно разрушающихся берегов, усугубляясь непосредственным воздействием на дно морских льдов. На погружающихся участках действие течений и волн ослабевает и на глубинах 30—40 м почти совершенно затухает, что способствует аккумуляции материала.

С интенсивными отрицательными движениями земной коры связано уничтожение некоторых островов в море Лаптевых и образование мелководных подводных банок. Это явление сопровождается деградацией мерзлоты, процессами термокарста. Интенсивность таяния мерзлых отложений в этом случае зависит от среднегодовой температуры таяния-замерзания мерзлых пород, от величины геотермического потока. Деградация мерзлых пород интенсивнее протекает сверху. Полная деградация мерзлой зоны после погружения ее под уровень моря осуществляется ориентировочно за сотни, возможно, первые тысячи лет. На поднимающихся приделтовых участках крупных рек происходит промерзание донных осадков с формированием во многих случаях подводной многолетнемерзлой зоны. При образовании мерзлой зоны наблюдаются морозобойное растрескивание и рост жильных льдов.

Суровый арктический климат северных морей способствует образованию береговых ледяных припаев толщиной до 2 м и более. Наиболее тяжелые ледовые условия характерны для Восточно-Сибирского моря, которое никогда полностью не освобождается ото льда. В конце лета льды покрывают до 65% его поверхности. Береговой припай в западной части моря достигает 400—500 км, в восточной не превышает 20 км. Наименьшую площадь льды занимают в Чукотском море (в сентябре в среднем не более 25% его поверхности). Ледяной припай здесь имеет малую ширину.

ШЕЛЬФЫ ОХОТСКОГО И БЕРИНГОВА МОРЕЙ

Шельф Охотского моря отличается очень большой шириной, особенно в западной части, и занимает около 42% всей площади акватории. Прибрежная часть шельфа до глубины 10 м со значительным уклоном до 0,1 сложена галькой и гравием, более глубоководная часть — преимущественно песками. Шельф Охотского моря прорезан многочисленными погребенными долинами, выполненными песчаными отложениями русловой фации и глинистыми с торфяными прослоями пойменной фации.

Морфология берегов Охотского моря весьма разнообразна. Западный берег Камчатки почти на всем протяжении от м. Южного до м. Лопатка низменный, песчаный. Вдоль берега моря тянутся пересыпи шириной 100—150 м, отделяющие от моря такие же узкие лагуны, тянущиеся на десятки километров. Пересыпи представляют собой либо одни,

либо несколько слитых между собой береговых валов высотой 5—7 м (Зенкович и др., 1973). Морские склоны представлены галечными или песчаными пляжами. В связи со сплошной заболоченностью прибрежной низменности пересыпи являются единственными местами, пригодными для размещения жилых поселков и производственных сооружений, но они подвергаются интенсивному размыву во время сильных штормов.

Северо-западное и отчасти северное побережье Охотского моря характеризуется чередованием обрывистых участков берега с низменными. Отложения, слагающие шельф Охотского моря, почти не изучены. Известно только, что на большой площади шельф покрыт с поверхности ледово-морскими отложениями: суглинками и супесями с большим содержанием полуокатанного обломочного материала. Физико-механические свойства этих пород не были исследованы.

Развитие береговых процессов на Охотском море определяется своеобразием климатической обстановки в этом регионе. Резкие температурные колебания способствуют интенсивному морозному выветриванию, приводящему к дезинтеграции даже весьма прочных пород. Ускорению процессов выветривания способствует периодическое смачивание пород в зоне приливов, которые в районе Шантарских островов достигают 6 м, а в северной части акватории 12,9 м (Пенжинская губа). Суровый климат способствует льдообразованию. Лед стаивает только в июле — августе, что предшествует образованию высоких волн и снижает интенсивность волновой абразии. С другой стороны, плавающий лед, вовлекаемый в ход береговым течением, вызывает постепенное разрушение даже очень прочных пород, о чем свидетельствуют многочисленные шрамы, покрывающие береговые обрывы. В дальнейшем материал, захватываемый льдом, является источником накопления ледово-морских отложений. В Беринговом море в южной части ширина шельфа сравнительно небольшая (10—20 км), в северной он занимает всю площадь акватории между Азиатским континентом и Северной Америкой. Преобладающим типом осадков, как и в Охотском море, являются ледово-морские, представленные супесями и суглинками с большим содержанием обломочного материала. Можно ожидать, что, как и в других морях, эти отложения характеризуются значительной плотностью и могут считаться надежным основанием для морских гидротехнических сооружений.

РАЗДЕЛ III

ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА И ИЗМЕНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Нарастающие темпы освоения Дальнего Востока и вовлечение в сферу хозяйственной деятельности ранее необжитых территорий вызвали необходимость решения широкого круга инженерных задач, среди которых важное значение приобретает анализ опыта строительства и на его основе прогноз изменения природных условий под влиянием деятельности человека. Необходимость решения последней задачи диктуется существенными изменениями температурного режима мерзлых грунтов, возникновением специфических инженерно-геологических и активизацией природных геологических процессов как в зоне влияния сооружений, так и на застраиваемых территориях в целом.

По условиям освоения в пределах Дальнего Востока четко выделяются три зоны: I — зона сплошного распространения многолетнемерзлых низкотемпературных пород с температурой ниже минус 2,5° и устойчивым температурным режимом; II — зона островного распространения многолетнемерзлых высокотемпературных пород с температурой от нуля до минус 2,5° и неустойчивым температурным режимом; III — зона глубокого (до 3 м и более) сезонного промерзания пород.

ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Строительство в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород

С самого начала освоения территории распространения многолетнемерзлых пород строительство и эксплуатация промышленных и гражданских зданий и сооружений сопровождались явлениями, приводившими к серьезным деформациям и даже к полному разрушению объектов. Это происходило в основном из-за недооценки сложных мерзлотно-геологических условий и климатических особенностей территории.

Обеспечение устойчивости различных объектов достигается правильным выбором использования грунтов в зависимости от геолого-мерзлот-

ных условий. Грунты основания могут использоваться в мерзлом состоянии в течение всего периода эксплуатации, а также в оттаивающем и оттаявшем состоянии. В первом случае необходимость сохранения в мерзлом состоянии сильнольдистых грунтов вызывается значительной их просадочностью при оттаивании. В твердомерзлом состоянии они практически несжимаемы под нагрузкой от сооружений, а при оттаивании превращаются в плывун и почти полностью теряют несущую способность. При строительстве неотапливаемых зданий проблема сохранения мерзлого состояния грунтов в их основании разрешается довольно просто; строительство же зданий и сооружений с тепловыделением требует дополнительных мероприятий. Наиболее часто и просто эта задача решается с помощью проветривания подполий, слабая вентилируемость которых может явиться причиной деформаций сооружений. В этом случае прогрев грунта в основаниях происходит постепенно. Грунты, особенно сильнольдистые и засоленные, что характерно для арктического побережья, при повышении температуры переходят в пластично-мерзлое состояние, и несущая способность их резко снижается. Если подполье не вентилируется, то тепловое влияние зданий настолько значительно, что грунты основания начинают оттаивать. Развивается чаша оттаивания, за счет вытаивания ледяных включений происходит осадка фундамента, что вызывает деформации сооружений, наблюдающиеся при оттаивании всех видов льдонасыщенных грунтов, в том числе крупнообломочных и даже коренных пород.

В качестве примеров можно привести деформировавшиеся трехэтажные здания, построенные в поселках Тикси и Певек на трещиноватых глинистых сланцах, верхний слой которых сильно льдонасыщен. Здания построены с подпольями высотой 0,6—0,8 м, проветриваемыми через щель над грунтом. Температура грунта на глубине 3 м в августе 1966 г. была —3,7°, а в августе 1968 г. из-за плохой вентиляции повысилась до —2,7°. Глинистый элювий сланцев под подошвой фундаментов перешел в пластично-мерзлое состояние, фундаменты дали осадку от 1 до 7 см, появились трещины.

Более интенсивно деформация зданий и сооружений с непроветриваемыми и слабовентилируемыми подпольями происходит в случае попадания в грунты основания поверхностных и технологических вод. Возникающие при этом осадки происходят скоротечно, что иногда приводит к катастрофическим разрушениям зданий. Накопленный опыт эксплуатации сооружений и инженерно-геологические исследования позволили уменьшить глубину заложения фундамента под каменные здания при глубине сезонного протаивания 1,5—2 м с 4,5—5 до 3—4 м, а под деревянные до 2—2,2 м, что значительно уменьшило размеры и вес железобетонных фундаментов.

В 60-х годах стали применяться свайные фундаменты, получившие широкое распространение на стройках Дальнего Востока, дающие высокие экономические показатели. В настоящее время применяются два способа погружения свай в мерзлые грунты: 1) предварительное пропаривание мерзлых грунтов и 2) погружение свай в предварительно пробуренные скважины, применяемые практически для всех видов грунтов. Последний обеспечивает быстрое восстановление нарушенного температурного режима грунтов.

При строительстве зданий и сооружений на засоленных грунтах, широко распространенных на арктическом побережье и вблизи Берингова моря, бывали случаи, когда установленные в пробуренные скважины сваи не смерзались с грунтом и их несущая способность оказывалась

в несколько раз ниже расчетной. Так, например, при строительстве больницы в г. Анадырь отдельные сваи, по данным статических испытаний, имели несущую способность 21—25 т по сравнению с предусмотренными проектом 60—70 т.

Возведение зданий и сооружений при допущении оттаивания грунтов основания в процессе эксплуатации успешно осуществляется на строительных площадках, сложенных крупнообломочными, песчаными и скальными грунтами, не подвергающимися большим осадкам при оттаивании. Опыт показал, что при строительстве на оттаивающих основаниях следует предусматривать необходимые конструктивные усиления фундаментов и стен, исключающие опасные деформации при неравномерной осадке основания. Для улучшения свойств основания льдонасыщенные грунты часто заменяют на определенную глубину ниже подошвы фундаментов талыми песчаными или крупнообломочными грунтами. Глубина замены определяется расчетом и зависит от степени просадочности многолетнемерзлых грунтов и вида сооружения.

В ряде случаев при глубине залегания коренных пород до 8—10 м применяются опирающиеся на них сваи-стойки. Устройство свай-стоек сопряжено с известными трудностями и требует высокого качества строительных работ. Скважины, пробуренные для установки свай, должны быть тщательно очищены от шлама, особенно в том случае, когда между бурением и установкой свай допускается перерыв. Оставшийся в скважине шлам замерзает и свая не доходит до проектной отметки (до скальных пород). В процессе эксплуатации сильно льдонасыщенный буровой шлам оттаивает и сваи проседают.

К аварийному состоянию здания и сооружения, построенные на оттаивающих основаниях, приходят из-за следующих ошибок, допускаемых при их проектировании, строительстве и эксплуатации: 1) отсутствия систематических наблюдений за геотермическим режимом грунтов основания; 2) отсутствия систематических наблюдений за осадкой фундамента и своевременного ремонта зданий (сооружений) особенно в первые годы эксплуатации; 3) засыпки пазух фундаментов пучинистыми грунтами; 4) нарушения строителями рекомендованных проектом мероприятий по улучшению свойств грунтов основания (частичное оттаивание перед постройкой, замена грунтов и др.); 5) промораживания грунтов основания при затянувшемся строительстве; 6) разработки проектов и строительства без предварительных изысканий; 7) необоснованного отступления от проекта в части заглубления фундаментов, их размеров и качества материала. Последнее чаще всего происходит при строительстве на скальных породах, когда их верхний сильно разрушенный насыщенный льдом слой (элювий) ошибочно принимается за скальный грунт. Нередко зона выветривания мерзлых коренных пород не имеет резко выраженного характера: волосные трещины, пронизывающие породу, не видны невооруженным глазом. Между тем элювий и особенно верхний его слой сильно насыщен льдом и при переходе в талое состояние разрушается даже без воздействия нагрузки и резко меняет свои несущие свойства. Наличие больших трещин, заполненных льдом, приводит при оттаивании пород к значительной осадке фундамента, причем из-за различной степени выветрелости пород на различных участках площадки — крайне неравномерной. Особой неравномерностью выветривания отличаются эффузивные породы: андезиты, андезито-базальты, порфириты. В большинстве случаев нормативное давление на оттаивающие коренные породы принимается равным $6 \cdot 10^5$, редко $10 \cdot 10^5$ Па. Опыт эксплуатации зданий и сооружений, построенных на скальных породах, показывает, что несущая способность их значи-

тельно выше указанных величин. Это подтверждается также и данными, полученными при полевых испытаниях горячими штампами.

Строительство зданий и сооружений с оттаиванием грунтов основания перед постройкой имеет преимущество в том, что осадка грунтов основания происходит с начала их оттаивания и к моменту ввода сооружений в эксплуатацию она достигает 80—90% полной осадки. Следует иметь в виду, что сооружения, построенные на предварительно оттаянных основаниях, должны иметь тепловой режим, который исключал бы в процессе эксплуатации зданий восстановление мерзлого состояния оттаявших грунтов. Строительство на предварительно оттаянных грунтах кроме улучшения их несущей способности позволяет максимально механизировать земляные работы, что резко повышает производительность труда.

Накопленный опыт строительства зданий и сооружений на предварительно оттаянных грунтах, а также опыт их эксплуатации показывает, что такой метод строительства может успешно применяться при выполнении следующих условий: 1) оттаивание грунтов должно строго контролироваться в специально пройденных температурных скважинах; 2) оттаянные грунты должны после окончания подачи воды быть сдренированы путем откачки воды в течение двух-трех суток из колодца или дренажной скважины; 3) качество выполнения оттаивания грунтов основания необходимо проверять проходкой контрольных шурфов (скважин) на всю расчетную глубину оттаивания в различных местах площадки; 4) оттаянные грунты основания должны предохраняться от повторного промерзания; 5) необходимо строго соблюдать сроки строительства, работы по закладке фундаментов должны заканчиваться до начала промерзания грунтов; 6) несущая способность оттаянных грунтов должна определяться специальными исследованиями. Несоблюдение этих требований может привести к деформациям возведенных на таких основаниях зданий и сооружений.

Не полностью исследована возможность предпостроечного оттаивания мерзлых глинистых грунтов. Одни исследователи считают, что глинистые грунты не могут быть использованы как основание фундаментов после предпостроечного оттаивания, поскольку они превращаются в разжиженную массу, на которой вообще нельзя возводить фундаменты зданий и сооружений. Другие видят возможность успешного использования таких грунтов в качестве основания забивных свай. Оттаянные глинистые грунты обладают тиксотропными свойствами, это дает возможность легко погружать забивные сваи, которые после некоторой выстойки плотно смыкаются с грунтом и могут выдержать значительные нагрузки. Проектирование, строительство и эксплуатация инженерных сетей в зависимости от мерзлотно-геологических условий также ведутся: с сохранением мерзлого состояния грунтов в процессе эксплуатации; с допущением оттаивания грунтов в зоне их теплового влияния.

Строительство инженерных сетей по первому принципу достигается наземной и надземной прокладкой инженерных сетей на столбах, мачтах, сваях, эстакадах и др. Мерзлое состояние грунтов в полосе проложения трасс обеспечивается также при строительстве их по поверхности грунта с обвалованием и на насыпи в каналах или бесканально. Частично к такому использованию грунтов можно отнести прокладку сетей в полузаглубленных каналах, крыши которых выходят на поверхность. Такой метод прокладки применяется на застроенных территориях, где невозможна ни наземная, ни надземная прокладка. При положительных значениях температуры воздуха в каналах их необходимо опирать на

вмороженные сваи. На территориях, сложенных непросадочными мерзлыми грунтами, прокладка инженерных сетей выполняется, как правило, в подземных, реже в полузаглубленных каналах. При этом допускается оттаивание окружающих грунтов в зоне теплового влияния.

При прокладке инженерных сетей в непросадочных грунтах применяются полузаглубленные каналы, температура воздуха в которых допускается положительной.

Правильность выбора принципа использования грунтов в полосе проложения трасс инженерных сетей независимо от метода прокладки, безаварийная их эксплуатация во многом определяют устойчивость зданий и сооружений, построенных в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Деформации большинства зданий происходят, как правило, там, где наблюдаются частые аварии инженерных сетей, где они выполнены без учета мерзлотно-грунтовых условий территории застройки и выбранного принципа использования грунтов основания сооружений. Поэтому проектированию, строительству и эксплуатации инженерных сетей должно уделяться серьезное внимание.

Строительство в зоне островного распространения многолетнемерзлых пород

В пределах этой зоны (Амурская область, Хабаровский край, Охотское приморье Магаданской области и часть Корякского национального округа) трудность проведения инженерно-геологических изысканий, проектирования и строительства обусловливается большой пестротой мерзлотно-грунтовых условий. Многолетнемерзлые породы приурочены в основном к заболоченным участкам низменностей и межгорных впадин, к северным склонам гор и к участкам ветрового сноса. Талые грунты, независимо от их гранулометрического состава, характеризуются значительной степенью поверхностного увлажнения.

Строительство по принципу сохранения многолетнемерзлого состояния грунтов основания на большей части территории данной зоны неприемлемо. Однако на просадочных грунтах с льдистостью 20—30%, как показала практика строительства (пос. Тыгда Амурской обл.), рациональнее сохранять многолетнемерзлое состояние грунтов основания.

Сравнительно небольшое число промышленных и гражданских зданий построено с предварительным оттаиванием грунтов основания. В некоторых случаях оттаивание мерзлых грунтов небольшой мощности происходит естественно — за счет инсоляции, но при большой мощности мерзлых грунтов солнечного тепла оказывается недостаточно и приходится прибегать к искусственным методам. Пароотгайка грунтов в строительной практике применяется редко, так как этот метод влечет за собой нежелательное увлажнение грунтов. При применении электрооттайки строители также сталкиваются с трудностями, вызванными резкой разницей в электросопротивлении мерзлых и талых грунтов, благодаря чему оттаивание почти не распространяется на глубину и ограничивается самым верхним слоем грунта. Так, например, при электрооттайке очень льдистых супесей и суглинков на одной из строительных площадок Магадана на поверхности мерзлого грунта создавался лишь 15—20-сантиметровый слой разжиженной грунтовой массы.

Более целесообразным и прогрессивным оказалось строительство

по принципу допущения оттаивания мерзлых грунтов основания в процессе эксплуатации зданий и сооружений. Устойчивость их обеспечивалась конструктивными мероприятиями (армирование фундаментов и стен, применение железобетоиных каркасов и др.). Такие здания и сооружения менее восприимчивы к неравномерным осадкам, вызванным оттаиванием грунтов основания. Следует отметить, что введение в здания и сооружения Магадана конструктивных элементов необходимо и по сейсмическим условиям. Опыт показал, что устойчивость зданий обеспечивалась в большинстве случаев применением только армированных ленточных фундаментов. Редко и только при особенно низкой несущей способности талых и оттаивающих грунтов оснований применялась сплошная железобетонная фундаментная плита.

Большая часть зданий и сооружений в данной зоне возведена на талых грунтах. На участках переувлажненных талых грунтов Амурской области здания на ленточных фундаментах приходится строить с подвалами выше уровня грунтовых вод или с применением различных типов гидроизоляции, осуществление которой очень сложно и дорого. В последнее время стал применяться способ окаливания бетонных блоков фундамента вместо оклеивания изолирующим материалом.

Большинство зданий и сооружений, построенных в зоне островного распространения многолетнемерзлых пород, успешно эксплуатируется в течение многих лет и не испытывает заметных деформаций. Эти здания построены, как правило, на свайных фундаментах, опирающихся на талые грунты.

Значительным деформациям подвергаются здания и сооружения, построенные в первые годы освоения территории и массового применения ленточных и столбчатых фундаментов. Строительство их велось либо без учета мерзлого состояния грунтов в основании, либо с допущением их оттаивания в процессе эксплуатации.

Накопленный опыт строительства и эксплуатации различных промышленных и гражданских объектов дает возможность выявить причины, вызывающие их деформации. Основной причиной деформаций является недоучет мерзлотных условий строительных площадок и использование в качестве основания талых и мерзлых грунтов в контуре одного здания. При инженерных изысканиях иногда не выявляются линзы и перелетки мерзлых просадочных грунтов, а также неправильно оценивается степень просадочности мерзлых грунтов при оттаивании, в связи с чем в проектах не предусматриваются соответствующие конструктивные элементы.

Деформации зданий и сооружений вызывает также пучение водонасыщенных сезонноттаивающих и промерзающих глинистых грунтов, широко развитых в верхней части разреза. Пучению грунтов способствует выпадение большого количества осадков осенью перед их промерзанием, а также плохо организованный отвод поверхностных вод и вод слоя сезонного протаивания (промерзания). Заложенные в таких условиях легкие здания испытывают деформации в течение всего года — зимой они поднимаются силами пучения, а летом садятся за счет оттаивания промерзших грунтов.

При освоении территорий, расположенных на участках речных долин с близким залеганием уровня грунтовых вод, часто образуются наледи. Формированию их способствуют удаление растительности или мохово-торфяного слоя, приводящее к более глубокому зимнему промерзанию грунтов и образованию мерзлотного барьера, препятствующего свободному движению грунтовых вод аллювиальных отложений.

Строительство в зоне глубокого сезонного промерзания

На равнинных территориях рассматриваемой зоны преобладающими грунтами оснований возводимых зданий и сооружений являются обладающие достаточно большой несущей способностью суглинки, супеси, глины, характеризующиеся в основном устойчивой структурой (не обладают свойствами просадочности при замачивании), плотным сложением, слабой (коэффициент фильтрации до 0,002 м/сут) водопроницаемостью. В природном сложении грунты, как правило, имеют низкую влажность. Грунты с высоким показателем консистенции встречаются на поймах и в устьевых частях речных долин. По гранулометрическому составу глинистые грунты часто пылеватые, вследствие чего классифицируются как пучинистые (морозоопасные) при обводнении.

Изыскания, проведенные в 1964—1972 гг., показали наличие на юге Амурской области перелетков мерзлых пород. На застроенных территориях перелетки приурочены к затененным участкам, формы их тел, как правило, сохраняют и подчеркивают формы затеняющих поверхность сооружений. Границы их часто не имеют плавного выклинивания. На открытых участках также встречаются обширные площади развития перелетков. При изысканиях трассы ЛЭП Белогорск — Возжаевка были отмечены перелетки на участке протяженностью более 500 м. Мерзлые породы чаще всего отмечались в интервалах глубин 2,5—3,6 м, иногда до глубины 5,5—6,3 м. Минимальная мощность слоев мерзлого грунта 0,4 м, максимальная — 3,1 м. Термический режим перелетков изучен слабо. По единичным замерам, температура мерзлого грунта в городах Шимановске и Свободном в летнее время не ниже — 0,5°, амплитуда колебания температуры 0,14—0,42°. На образование и развитие перелетков наряду с климатом и рельефом влияет хозяйственная деятельность человека: застройка территории; насыпные грунты; засорение территории отходами деревообрабатывающей промышленности и др. (Котляр, 1972).

Строительная практика в условиях юга Дальнего Востока имеет много примеров деформаций малоэтажных зданий и легких сооружений из-за нарушения их устойчивости; основными причинами являются пучение песчано-глинистых грунтов и пучение совместно с осадкой. Строительные нормы и правила для сухих глинистых грунтов определяют глубину заложения фундаментов независимо от глубины их сезонного промерзания. Однако в условиях юга Дальнего Востока имеется немало случаев повреждения малоэтажных зданий и легких сооружений морозным пучением. Заглубление подошвы фундамента на мощность активной зоны пучения с устройством противопучинных мероприятий с отводом воды от подошвы фундамента требует большого объема работ и при круглогодичном строительстве не всегда возможно, а в ряде случаев дорогостоящее. Поэтому в последнее время появилась тенденция к заглублению фундаментов на нормативную глубину промерзания, независимо от теплового режима здания и грунтовых условий.

Дальневосточный институт Промстройниипроект предложил схему фундамента, располагающегося на дневной поверхности, при которой зданию угрожает только неравномерность проявления сил пучения, что устраняется конструктивными мероприятиями. На строительных площадках, где глинистые пучинистые грунты подстилаются водопроницаемыми грунтами, в 60-х годах стали применяться столбчатые фундаменты с дренирующими прослойками. Отвод воды из прослоек осуществляется в слои водопроницаемого грунта, подстилающего суглинистые грунты

основания. Величина пучения таких фундаментов не превышает 10 мм, в то время как на площадках строительства с аналогичными инженерно-геологическими условиями при применении фундаментов других типов малоэтажные здания в зимний период подвержены морозному выпучиванию, подвалы их затапливаются водой (Федорова, 1965).

На Сахалине пучинистые грунты часто подстилаются слабыми заторфованными или заиленными грунтами с высоким уровнем грунтовых вод (Углегорск, Чехов). Слабые грунты в пределах сжимаемой толщи не могут служить естественным основанием для фундаментов или требуют свайных фундаментов с большой длиной сваи. В последние годы в таких случаях применяются фундаменты с дренирующими прослойками на основании, закрепленном песчаными набивными сваями. В уплотненном песчаными сваями грунте роют котлован или траншею, где осуществляется устройство непрерывных фундаментов с глубиной заложения подошвы не менее чем на $^3/_4$ глубины сезонного промерзания (считая до верха песчаной подготовки). В случае строительства зданий с подвалом уплотнение грунта песчаными сваями осуществляется с поверхности открытого дна котлована (Федорова, 1965). В практике строительства на территории юга Дальнего Востока известны случаи затопления подвалов зданий, построенных в первоначально сухих грунтах. Повышение уровня грунтовых вод происходит не только за счет утечек воды из неисправных инженерных коммуникаций, но и за счет нарушения природного сложения грунтов на строительных площадках при условии резкопеременного режима влажности грунтов в специфических природных условиях юга Дальнего Востока. Наименьшие нарушения природного сложения грунтов застраиваемых площадок происходят при применении свайных фундаментов для бесподвальных зданий. Как в гражданском, так и в промышленном строительстве основная часть проблемы борьбы с обводнением глинистых грунтов зоны аэрации на застраиваемых территориях юга Дальнего Востока решается применением свайных фундаментов, преимущество которых обнаружено во всех грунтовых разностях. На объектах, возведенных на свайных фундаментах, ни в одном случае не отмечены неравномерные осадки, в то время как деформации зданий на ленточных фундаментах не единичны. Применение свайных фундаментов позволяет успешно решать важную для Дальнего Востока проблему борьбы с пучением, но не исчерпывает ее полностью. Из-за опасности выпучивания малозагруженных свайных опор приходится применять сваи почти вдвое большей длины, чем это требуется, учитывая только несущую способность грунтов основания.

Освоение и застройка горной территории южной части Дальнего Востока связаны с определенными трудностями. В узких и глубоких долинах горных рек, где обычно располагаются населенные пункты, часто трудно найти площадку с относительно малыми уклонами поверхности. Склоны сложены крайне неоднородными грунтами. Как свидетельствует практика строительства, наиболее часто встречаются случаи, когда основание в пределах контура здания или сооружения сложено сжимаемыми грунтами, имеющими различные значения модуля деформации. Различная сжимаемость грунтов в пределах контура одного здания может быть обусловлена не только грунтами с различной несущей способностью, но и изменяющейся мощностью сжимаемой толщи в случае однородного грунта. Более сложным в смысле проектирования и строительства является сочетание скальных несжимаемых грунтов и песчаных и глинистых сжимаемых. Во всех этих случаях появляется опасность деформации конструкций зданий из-за неравномерности осадок основания.

Наиболее рациональным инженерным решением в таких условиях признан метод выравнивания осадок основания с помощью песчаных подушек. Особое внимание при этом уделяется дренажу для перехвата поверхностных вод, поступающих с верхних частей склонов. Подсыпка песчаного материала для выравнивания дна котлована не должна превышать 5—10 см, так как возможны суффозионные процессы. Несоблюдение этих норм приводит к непредвиденным осложнениям. Так, во Владивостоке при строительстве на склоне девятиэтажного дома песчаная подушка в основании фундамента достигала нескольких дециметров. После дождей из-за выноса песка из-под фундамента каркас дома, возведенный до третьего этажа, перекосился. Нередки случаи, когда плохой дренаж также приводит к значительным осложнениям. Так, в микрорайоне Владивостока после появления весной верховодки стены здания, возведенного на склоне, начали сползать. Причем стены, расположенные ниже по склону, сползали быстрее. Возникла угроза падения перекрытий. Были приняты срочные меры: стены стянули металлическими штырями на болтах; для перехвата верховодки, поступающей со склонов к зданию, был создан дренаж из перфорированных асбоцементных труб с выводом воды ниже фундамента в овраг. Причинами нарушения устойчивости зданий часто являются неполноценность инженерно-геологических изысканий, неправильно выбранное конструктивное решение или нарушение правил и сроков строительства. Интересен опыт инженерно-геологических изысканий на площадках, сложенных пирокластическими грунтами (Петропавловск-Камчатский). Деформативные параметры грунтов пирокластических осадков низкие: модуль деформации, по данным полевых определений, колеблется в пределах $400 \cdot 10^5$—$650 \cdot 10^5$ Па. Разрушение структуры наблюдается при давлениях $4 \cdot 10^5$—$5 \cdot 10^5$ Па. При ненагруженном штампе прогибомером фиксируется реакция разуплотнения грунта, которая прекращается при нагрузке, равной бытовому давлению, что свидетельствует о наличии упругих свойств цементирующего материала. Декомпрессионная кривая после разгрузки восстанавливается быстро, в течение одного-двух часов. В ряде случаев модули деформации могут быть случайными из-за массивных включений валунов и глыб. Для супесчаных разностей пирокластических отложений получены также высокие значения модуля деформации. У грунтов хорошие дренирующие способности. При смачивании основания из-за утечек из водопроводно-канализационных сетей снижения несущих свойств не зафиксировано. При нарушении естественного состояния буровым наконечником пирокластические грунты сильно уплотняются. Средние значения плотности, по данным бурения скважин, 2—2,3 г/см^3, при отборе проб из котлованов и шурфов они равны 1,8—2 г/см^3. Это приводит к неправильному определению допускаемого давления на грунты и подбору фундаментов. Использование прибора объемного плотномера-влагомера, рекомендованного для широкого внедрения при определении объемных весов, приводит к еще большим погрешностям. Наиболее достоверными являются полевые методы. Часто проектировщики предусматривают небольшое заглубление фундаментов, а так как макропористые грунты могут залегать в виде карманов (в крупнообломочных грунтах в качестве заполнителя), то часть фундаментов укладывается непосредственно на слабые отложения.

При обратной засыпке пазух макропористой супесью и последующем увлажнении за счет утечки воды из водопроводно-канализационных сетей наблюдаются просадки оснований и деформации их вследствие морозного пучения.

Опыт строительства в сейсмически активной зоне Камчатки

На восточном побережье Камчатки в результате землетрясений здания и сооружения подвергаются различным повреждениям, которые зависят от инженерно-геологических и гидрогеологических условий, объемно-планировочных работ и конструктивных решений, качества строительства и проектирования. При одинаковых геологических, гидрогеологических и других условиях здания, имеющие большее заглубление, имели меньшие повреждения.

В Петропавловске-Камчатском не выявлено заметной зависимости изменения сейсмичности от положения уровня грунтовых вод. Поскольку отложения с низкой несущей способностью, как правило, распространены в пониженных участках и им сопутствуют высокие уровни подземных вод, то последнее обстоятельство ошибочно принимается определяющим. При одинаковых прочностных и деформативных характеристиках грунтов не следует ожидать особых изменений расчетной сейсмичности площадок. Попытка увязать максимальные разрушения зданий с тектоническими разломами успеха не имела. В Петропавловске-Камчатском связывались с наличием тектонического разлома деформации зданий медицинского училища и больницы. При бурении скважины глубиной 40 м выяснилось, что ниже делювиально-пролювиальных отложений, залегающих до глубины 10—20 м, развиты морские илы большей мощности. Илы имеют слабую плотность и простираются в направлении бухты вдоль контура поврежденных зданий. Заметные повреждения жилых домов отмечены также на участке распространения пирокластических отложений, представленных крупнообломочными грунтами. На рыхлых морских водоносных грунтах здания имели существенные деформации. На скальных грунтах устойчивость зданий максимальная.

Крупнопанельные здания, строящиеся в различных грунтовых условиях, достаточно сейсмостойки. Многоэтажные здания, сооруженные на неблагоприятных в сейсмическом отношении грунтах, но с применением свайного основания или монолитной железобетонной плиты, переносят землетрясение вполне удовлетворительно. Гидротехнические причальные сооружения в целом перенесли землетрясения хорошо. Имеются единичные случаи разрывов замков шпунтовых свай, срывы и ослабления анкерных тяг и провалы причальных площадок в связи с распором причальных стенок и уплотнением намывных грунтов. После землетрясения в 1971 г. в Петропавловске-Камчатском произошла осадка территории набережной. Глубоководные набережные, примыкающие к причалу, не имели повреждений. Здесь подкрановые железобетонные балки опираются на свайные основания. На автомобильные дороги землетрясение не оказало существенного воздействия. После землетрясения на поверхности обнаружены многочисленные трещины. На заболоченных участках отмечается небольшая усадка полотна. Отдельные опоры ЛЭП, фундаменты которых уложены на слабые грунты, также испытали просадки и подлежали реконструкции.

ЛИНЕЙНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Строительство дорог в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород

На льдистых мелкодисперсных грунтах, распространенных на большей части равнин и межгорных впадин, строительство дорог осуще-

ствляется с сохранением многолетнемерзлого состояния грунтов в основании насыпи.

На слабольдистых валунно-гравийно-галечниковых грунтах строительство дорог ведется с допущением оттаивания грунтов в основании насыпи, так как мерзлое состояние таких грунтов мало или почти не оказывает влияния на устойчивость земляного полотна.

Опыт строительства и эксплуатации дорог, построенных с сохранением многолетнемерзлого состояния грунтов основания, показывает, что при достаточной высоте насыпи с пологими откосами под земляным полотном формируется новое положение границы многолетнемерзлых грунтов: ее конфигурация в определенной мере повторяет очертание поперечного профиля насыпи в сглаженной форме. Создается так называемая мерзлотная полка, которая имеет небольшой уклон в стороны от насыпи. Это обеспечивает подземный водоотвод надмерзлотных вод и увеличивает устойчивость земляного полотна.

Другим средством защиты грунтов от протаивания является теплоизоляционная мохо-торфяная подушка начальной толщины 60—70 см. Экспериментальные подушки были уложены в соответствии с проектом на строительстве дорог на участках с сильнольдистыми грунтами и с расположенными под слоем сезонного протаивания подземными льдами. Проведенными температурными наблюдениями в специальных скважинах установлено, что подушки толщиной менее 60 см на всех участках не защищали мерзлые грунты основания от сезонного протаивания. На участках, где высота подушек составляла 60 см и более, в большинстве случаев защищаемые грунты сохраняли отрицательную температуру и только на южных склонах под такими подушками наблюдались положительные температуры. Наилучший эффект дала теплоизоляционная подушка начальной толщиной 70 см, которая в летний период сохраняет в грунтах устойчивые температуры около минус 1—2°. В целом теплоизоляционные подушки себя оправдывают, но вопрос об их использовании может быть решен при условии применения полной механизации заготовки и укладки мохо-торфяной массы. На некоторых участках дорог на основание из сильнольдистых грунтов и подземных льдов строители укладывали стлань из бревен и покрывали ее мохо-торфяным слоем толщиной 0,1 м. Поверх такой прокладки была возведена насыпь высотой 0,6—0,7 м. В первые годы после отсыпки значительных деформаций насыпи не наблюдалось, но затем под влиянием воды, проникавшей под стлань, льды оттаяли, создались пустоты, над которыми стлань стала ломаться и проваливаться, увлекая за собой насыпь. Следовательно, укладка стлани при малой высоте насыпи не предохраняет подземные льды от протаивания и разрушения насыпи, а только замедляет этот процесс.

Нарушение установившегося температурно-влажностного режима в процессе строительства дорог и недоучет специфических факторов приводят к деформациям сооружений, особенно опасным в местах распространения льдистых мелкодисперсных грунтов с пластовыми залежами внутригрунтового льда и с жильными льдами. Изменение температурного и влажностного режима в зависимости от мерзлотно-грунтовых условий вызывает либо осадку, либо пучение грунтов основания. Осадка грунтов основания насыпи связана главным образом с уплотнением их за счет собственного веса в результате вытаивания грунтового льда и в меньшей степени за счет уплотнения грунта под нагрузкой насыпи. По данным Л. И. Калабина (1960), осадка протаявших грунтов основания в отдельных случаях достигает в пылеватых супесях и суглинках 85 см/м, а в песчано-галечниковых грунтах — 20 см/м. Надмерзлотные воды,

фильтруясь через просевшие грунты основания насыпи в местах наибольших просадок, обусловливают дополнительное углубление протаивания льдонасыщенных грунтов и подземных льдов, что нередко приводит к деформациям, а иногда и к разрушению дорожной конструкции.

В пределах Восточной Якутии на автомобильных дорогах, сложенных глинистыми пылеватыми грунтами, установлены следующие виды деформаций.

1. Образование пучин высотой до 0,5 м и более при переувлажнении пылеватых грунтов земляного полотна. Исправление этих участков дороги засыпкой грунтом не эффективно, так как пучины возобновляются после прохода транспорта. Существуют пучины в течение всего теплого периода года и прекращаются при полном промерзании земляного полотна. Против пучинообразования применяются обычно очистка и углубление нагорных канав и кюветов, обеспечение свободного стока воды к искусственным сооружениям, обеспечение нормальной работы искусственных сооружений, поднятие земляного полотна на 0,3—0,5 м, причем подсыпки выполняются из фильтрующих грунтов.

2. Размывы земляного полотна, возведенного из пылеватых грунтов при высоте насыпи более 1 м. При высоте насыпи 2,5—3 м размыв достигал на отдельных участках дорог 3—3,5 м, что составляет более $^1/_3$ ее ширины. Наиболее интенсивно размыв происходит на участках с большой крутизной откосов (1 : 1,5 и круче), особенно в тех местах, где поверхность и откосы земляного полотна не спланированы.

3. Деформации земляного полотна, возникающие в результате устройства резервов. Эти деформации по характерным внешним проявлениям подразделяются на три типа: 1) деформации, характеризующиеся образованием нестабильной бугристой поверхности резервов; 2) овраги (глубокие размывы эрозионного и термокарстового происхождения); 3) термокарстовые озера. Бугристая поверхность резервов представляет собой чередование бугров и ям. В первые два-три года вершины бугров соответствуют первоначальной поверхности резервов. Средний диаметр бугров у основания 3—3,5 м, глубина ям достигает 0,8, иногда 1,5 м. Пространство между буграми заполнено разжиженным грунтом и водой. Деформации такого вида часто захватывают земляное полотно, прорезают его откосы и проникают до глубины 0,5—1 м. Кроме непосредственного разрушения откосов эти деформации затрудняют водоотвод и способствуют развитию оврагов. Если рост бугристой поверхности резерва прекращается в течение двух-четырех лет, то овражкообразование со временем интенсифицируется. Овраги быстро разрастаются в ширину, вторгаясь в тело земляного полотна, угрожая его полному размыву. При разработке неглубоких резервов на участках залегания линз льда глубина резервов быстро увеличивается, особенно в условиях интенсивного притока воды. Последний вид деформаций встречается реже, но весьма существенно влияет на устойчивость земляного полотна. Увеличиваясь в размерах, термокарстовые озера выходят за пределы резервов, поглощая все дорожные сооружения. Первые два типа встречаются в основном на крутых косогорах (круче 1 : 10), сложенных пылеватыми грунтами. В большей степени резервы деформируются в верхней части склона и меньше у подножия. Термокарстовые озера характерны для пониженных в рельефе участков. Строительство автодорог и сооружений здесь часто способствует образованию наледей. Наледи, образующиеся у земляного полотна, обычно выходят на проезжую часть дороги. При промерзании обводненных грунтов зимой и их оттаивании летом, как правило, возникают и развиваются деформации насыпи, сопровождающиеся просадкой, выпучива-

нием и неравномерной осадкой. Для борьбы с наледями в настоящее время применяются мероприятия по регулированию теплового режима водотока, строительство искусственных сооружений с увеличенными отверстиями, устройство заборов, валов, утепленных или открытых лотков и др. Однако проблема надежной и эффективной защиты сооружений от вредного воздействия наледей еще далека от полного решения.

Строительство дорог в зоне островного распространения многолетнемерзлых пород

В этой зоне, характеризующейся выпадением ливневых дождей, метод строительства дорог с сохранением многолетнемерзлого состояния грунтов основания в течение всего периода эксплуатации, как показывает опыт строительства, неприемлем. Институтом Дальгипротраис (1968) проведены работы по обследованию состояния железнодорожного полотна Байкало-Амурской магистрали на участке Ср. Ургал — Комсомольск-на-Амуре, эксплуатировавшейся в течение двадцати лет. Дорога строилась с сохранением многолетнемерзлого состояния грунтов основания. Насыпи на участках развития высокотемпературных многолетнемерзлых грунтов приобрели в продольном профиле волнообразный характер. Деградация мерзлого состояния грунтов основания вызвала их осадку, величина которой на торфяных марях во много раз больше, чем на участках с минеральными грунтами. Там, где не были выполнены водоотводы, у подошвы насыпи на марях образовался застой воды с термокарстовыми озерами, что вызвало в свою очередь расползание насыпи по ее подошве. Повсеместно наблюдаются зарастание откосов, заплывание и засорение обломочным материалом кюветов, что ведет к появлению пучин в выемках. Наледи распространены повсеместно. В связи с этим у насыпей высотой 2—6 м откос не круче 1 : 1,5. Установлено также, что попытка сохранения многолетней мерзлоты термоизоляцией основания насыпи мохо-торфяными выстилками и деревянными пакетами не дала положительных результатов. Оттаивание многолетнемерзлых пород перед постройкой с помощью снятия растительного слоя и частичного выторфовывания на контрольных площадках оказалось также малоэффективным. Глубина чаши протаивания в основании насыпи зависит от ее высоты. На неравномерность протаивания мерзлых пород под откосами разной ориентации оказывает влияние солнечная радиация. На участках, где грунтовые воды отсутствуют, под насыпями высотой 4—5 м чаша протаивания не образовывалась, а при насыпях большей высоты мерзлота входит в тело насыпи независимо от грунтов насыпи и основания. При высоте менее 4—5 м максимальное протаивание не превышает 4 м. Данные наблюдения подтверждают результаты, полученные моделированием природных процессов на гидроинтеграторе и ЭВМ, а также на экспериментальных насыпях.

Прогнозирование глубины протаивания и величины осадки высокотемпературных многолетнемерзлых грунтов основания насыпи с учетом отепляющего воздействия надмерзлотных (поверхностных) вод является главным вопросом проектирования дорог по принципу допущения оттаивания грунтов основания в период строительства и эксплуатации, единственно приемлемому для подобных условий, так как строительство насыпей высотой более 4—5 м для сохранения многолетнемерзлого состояния грунтов основания очень дорого, оттаивание перед постройкой современными методами для линейного строительства дорого и малоэффективно.

Хабаровским научно-исследовательским институтом железнодорожного транспорта была проведена статистическая обработка результатов обследования некоторых постоянно действующих железных дорог после длительной эксплуатации (10—60 лет), а также ряда лесовозных железных дорог и дорог, находившихся в длительной консервации. Результаты обработки исходных данных позволили сделать вывод, что независимо от природно-климатических условий расположения дорог и грунтов тела насыпи величина заложения откосов насыпи 1 : 1,5, принятая при строительстве, ни на одной из линий не сохранилась и в среднем колеблется в пределах от 1 : 1,7 до 1 : 1,8, отклоняясь от принятого при строительстве заложения на 15—20% в сторону выполаживания.

Деформации насыпей автомобильных дорог, проходящих по склонам, в зоне распространения многолетнемерзлых пород вызываются неустойчивостью и подвижностью грунтов сезонноотаивающего слоя, легко переходящих в текучее состояние. При медленном вязкопластическом течении насыпи смещаются вниз по склону вместе со всем покровом. Деформации в этом случае обычно незначительны и становятся заметными после длительного срока эксплуатации. На склонах с сильнольдистыми грунтами возможно быстрое сползание насыпей вместе с талым слоем грунтов. Быстрое сползание свежеотсыпанных насыпей возможно при возведении их во второй половине лета, когда грунты слоя сезонного протаивания уже сами по себе находятся в неустойчивом состоянии. Пригрузка талого слоя массой насыпи резко увеличивает касательные напряжения и ускоряет движение оттаявшего слоя вместе с насыпью. На одной из строящихся дорог Чукотки наблюдались случаи, когда такое сползание захватывало полосу шириной до 40 м и в течение суток оползень смещался примерно на 100 м вниз. Как было установлено позже, оползающие массы подстилались прослойкой сильнольдистого грунта (суммарная влажность 50%).

В некоторых случаях интенсивные подвижки начинаются на участках склона выше насыпи. При этом образуется разжиженная грунтовая масса, заливающая проезжую часть дороги. Откосы выемок на склонах чаще всего подвержены оплывам, возникающим обычно в течение второго и третьего годов строительства. Особенно интенсивно оплывают откосы при сооружении выемок в льдистых грунтах. После просыхания грунта до влажности 15—20% откосы выемок становятся устойчивыми.

Во многих случаях деформации земляного полотна вызываются разрушением естественного мохо-торфяного покрова над сильнольдистыми грунтами во время строительства. Следствием этого являются проявление термокарста, деформации откосов, их оползание, появление трещин, осадки. Это наблюдается даже там, где глубина сезонного протаивания под насыпью по оси незначительна. Последствия оттаивания жильных льдов наблюдаются не только на террасах, сложенных мелкодисперсными грунтами, но и на делювиальных шлейфах, сложенных крупнообломочными грунтами. На участках со значительными уклонами развиваются крупные овраги, первоначально возникающие по тракторным колеям.

Строительство дорог в зоне глубокого сезонного промерзания

Основной причиной, вызывающей деформации дорожного полотна в южной части Хабаровского края и в Амурской области, является пучи-

нообразование и наледеобразование. Грунты земляного полотна здесь представлены большей частью пылеватыми суглинками с содержанием пылеватой фракции до 77%, обладающими большой высотой капиллярного поднятия (от 1,7 до 3,2 м) и большой влагоемкостью (более 37—43%). При значительной мощности покровных пылеватых суглинков осенью на глубине 1—1,5 м устанавливается уровень верховодки, являющейся источником влаги, мигрирующей в тело земляного полотна в первые зимние месяцы; в сочетании с заниженной высотой насыпи 0,6—0,9 м это приводит к пучению полотна дорог и его деформациям.

Серьезную опасность как при строительстве новых дорог, так и при эксплуатации создают наледи. Эффективных мер по борьбе с наледями пока нет. Одной из причин неудач является недостаточное или вообще полное отсутствие гидрогеологических исследований наледных участков. Опыт строительства насыпей железнодорожного полотна на наледных участках показывает, что во избежание наледных процессов насыпь должна пропускать подземные воды. Для этого в насыпи необходимо устраивать водопропускные трубы, лотки или небольшие мосты. Однако эти сооружения, как правило, нарушают естественные гидрогеологические условия местности, тем самым способствуя развитию наледных процессов. Фильтрующие насыпи, построенные из материала, легко пропускающего воду, не только не нарушают гидрогеологическое естественное состояние грунтов, но и служат теплоизолятором, уменьшая глубину промерзания грунта. Наледи в них никогда не образуются.

Фильтрующие насыпи как самостоятельный вид искусственных водопропускных сооружений на железных дорогах Дальнего Востока начали строиться с 1932 г. в период прокладки Транссибирской магистрали, а также на горных участках линии Пивань—Советская Гавань, построенной в годы Великой Отечественной войны. На линии Волочаевка II — Комсомольск-на-Амуре фильтрующими насыпями заменяли деревянные лотки и мосты. К 1961 г. на Дальневосточной железной дороге насчитывалось 95 фильтрующих насыпей, которые повсеместно оправдали себя, успешно справляясь с пропуском водотоков, не имея существенных деформаций и почти не требуя никаких затрат на текущее содержание. Иногда наблюдаются дефекты фильтрующих насыпей: засорение входов, выветривание и разрушение, застой воды перед насыпью. Причиной этих дефектов являются ошибки при их возведении и текущем ремонте (Цвид, Хомичук, 1970).

Сооружение дорожного полотна на участках распространения торфов ведется в долинах рек и в лагунах (на материке и на Сахалине), где широко развиты торфяные болота низинного типа мощностью 1—6 м (Сахалин). Грунты минерального дна обычно представлены суглинистым или супесчаным илом, иловатыми суглинками и супесями. Торф и ил, обладая высокой пористостью, влажностью и слабыми структурными связями, являются сильносжимаемыми и слабыми грунтами. Их характерной особенностью является резкая изменчивость физико-механических свойств как по глубине, так и по площади, что создает значительные трудности при проектировании земляного полотна на участках болот, так как трудно получить достаточно обоснованные данные для подсчета конечной осадки торфа и времени его консолидации. Опыт строительства линии Ильинский — Арсентьевка (Сахалин) показывает, что на участках развития болот, выполненных осоковым торфом мощностью 3—6 м, под насыпью высотой до 3 м время стабилизации осадки торфа составляло не менее трех лет (Дальгипротранс, 1972).

При сооружении железнодорожных насыпей на илах мощностью более 10 м, в верхней части разреза находящихся в текучепластичном состоянии, а глубже — мягкопластичном, производится обычно предварительное их частичное удаление и уплотнение в процессе строительства и эксплуатации. Как показали наблюдения при строительстве одной из дорог, на первый год приходится в среднем 79% полной осадки насыпи, через два года — 95% и в последующие годы всего 5%. Такие насыпи в условиях эксплуатации вполне устойчивы. Инженерные мероприятия направлены обычно на предотвращение возможности выдавливания слабых грунтов из-под насыпи. Основным из них является установка боковых пригрузочных ферм. Практика показала также целесообразность возведения насыпи с частичным выдавливанием илов; при этом повышенные напряжения в илах снимаются в период строительства. Насыпь рекомендуется возводить с временной эквивалентной пригрузкой (Дальгипротранс, 1970).

Строительство мостов в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород

Горные реки севера Дальнего Востока трудны для сооружения на них опор мостов из-за большой скорости течения воды (3,5 м/с); деформаций русел, связанных с периодическими размывами и наносами; включений гальки и валунов в песчано-гравийных и галечниковых отложениях, наиболее распространенных на описываемой территории.

В качестве основания опор мостов используются как коренные породы (в случае их неглубокого залегания), так и рыхлые отложения. Последние могут находиться в мерзлом и талом (обводненном) состоянии. Плотность сложения мерзлых грунтов различна. Наблюдение за эксплуатацией мостов, построенных на свайных фундаментах по принципу допущения оттаивания грунтов основания, показывает, что на самом деле оттаивания не происходит. Температура мерзлых грунтов основания, наоборот, понижается, так как на сравнительно небольшом участке мостового перехода при возведении фундаментов для мостовых опор погружается значительное количество свай, обладающих большей теплопроводностью, чем окружающие грунты. Количество холода, поступающего в грунты основания через сваи при длительном периоде с отрицательными температурами воздуха, значительно превышает количество тепла, поступающего в грунт в теплый период. Поэтому в грунтовом основании формируется отрицательный баланс. После строительства мостов и других сооружений на этих участках возникают наледи, которых до строительства не наблюдалось, что свидетельствует также о быстром перемерзании подрусловых потоков. Опыт эксплуатации мостов, построенных на так называемом «оттаивающем» основании, показывает, что все мосты при правильном гидравлическом и конструктивном расчетах не испытывают заметных деформаций. Высказанное предположение требует проверки. Пока на севере Дальнего Востока никаких наблюдений и исследований в этом смысле не проводилось.

Строительство мостов в зоне островного распространения многолетнемерзлых пород

Исследования показывают, что при строительстве мостов над большими и средними водотоками в зоне островного распространения много-

летнемерзлых пород во многих случаях можно не считаться с присутствием многолетнемерзлых грунтов в основании при глубине ее залегания 15—20 м. Возведение сооружений здесь может осуществляться обычными способами без учета многолетней мерзлоты. Подтверждением тому служат большие и малые мосты через реки Тырма, Сутырь, Чегдомын и другие, построенные по обычным типовым проектам и нормально эксплуатируемые в настоящее время без каких-либо признаков деформаций. Для малых водотоков в пределах этой зоны характерно понижение верхней границы многолетней мерзлоты в пределах живого сечения водотока, возникающее в результате интенсификаций расходов и упорядочения стока, вызванных постройкой земляного полотна и сооружений на дорогах. Значительное и интенсивное понижение верхней границы многолетней мерзлоты на малых водотоках наблюдается во время периодических подъемов воды, число которых по линии Известковый — Чегдомын может доходить до пяти-шести за теплый период года. Интенсивность деградации многолетней мерзлоты в этом случае может достигать 5—14 м/сут в русле и 0,1—1,2 м/сут на бровках русла.

В зоне островного распространения многолетнемерзлых пород широко распространены наледи на малых, а иногда и на средних водотоках. При строительстве водопропускных сооружений в прилегающих к ним зонах производится глубокое изменение природных мерзлотно-грунтовых условий, нарушаются термический и гидрологический режимы русловых и подрусловых вод и создаются условия, вызывающие появление новых или усиление действующих наледей. Опыт показывает, что при проектировании мостов наличие наледей должно учитываться из условия не только расчета опор на ледовую нагрузку, но и возможности образования заторов при подходе наледных полей к сооружениям. При строительстве на многолетнемерзлых грунтах с сохранением мерзлого состояния оснований оправдывает себя устройство над постоянно-действующими водотоками фильтрующих насыпей, тогда как у мостов и труб появляются существенные деформации. Деформируются главным образом малые сооружения: небольшие мосты, трубы и лотки. Осуществление таких конструктивных мероприятий, как устройство наклонных граней фундаментов в пределах сезоннопромерзающего слоя, сглаживание поверхности этих наклонных граней, засыпка пазух котлованов песком со щебнем или галькой и другие оказываются малоэффективными. Применение толстых ростверков и песчано-гравелистых подсыпок под опорами мостов не уменьшает глубины оттаивания многолетнемерзлых грунтов, а, наоборот, способствует более глубокому их протаиванию, так как часть воды через песчано-гравелистое заполнение пазух котлованов и подсыпки уходит под ростверки и повышает температуру многолетнемерзлых грунтов оснований сооружений. При этом ростверки уже являются термопокрытием для протаявшего основания от возможного промерзания зимой и ликвидации образовавшегося талика (Паталеев, 1969).

Обобщение результатов натурных наблюдений и исследований позволило сделать вывод, что нарушение условий сохранения многолетней мерзлоты в пределах мостовых переходов объясняется не только тепловым воздействием фундаментов опор, но и дополнительно тепловым влиянием поверхностного водотока, изменением режима надмерзлотных вод, образованием наледей, изменением растительного и почвенного покровов в районе мостового перехода, а также условиями производства работ при строительстве.

Строительство мостов в зоне глубокого сезонного промерзания

На Амурской железной дороге массивные опоры многих малых и средних мостов постройки 1911—1915 гг. на первом пути и постройки 1934 г. на втором пути в результате ежегодного выпучивания имеют неравномерные осадки с нарушением целостности кладки. Строительство свайно-эстакадных мостов позволяет ликвидировать указанные недостатки. В горных районах дороги укладываются в насыпях, выемках, полувыемках и полунасыпях. При подрезке склона часто происходит разгрузка подземных вод к полотну дороги, и в случае плохого водоотвода отмечаются длительные застои вод и переувлажнение грунтов полотна. В дальнейшем при промерзании происходит льдовыделение под покрытием и его деформация. В полувыемках-полунасыпях из-за различной плотности основания фиксируется уплотнение перемещенного грунта, в результате чего на поверхности покрытия появляются швы отседания, параллельные оси дороги.

Строительство линий электропередач

Опыт строительства на Дальнем Востоке показал, что наличие многолетнемерзлых грунтов требует проведения специальных мероприятий и соблюдения особых условий при назначении глубины заложения опор, материала для засыпки котлованов, защиты некоторых многолетнемерзлых грунтов от протаивания. При строительстве ЛЭП и других сооружений в мерзлом состоянии сохраняются, как правило, все виды льдистых рыхлых грунтов, остальные грунты используются по принципу допущения их оттаивания. Мерзлое состояние грунтов сохраняется с помощью восстановления вокруг опор растительного слоя или устройством обвалования из местных грунтов. Устойчивость опор, заглубленных в мелкодисперсные грунты, обеспечивается в тех случаях, когда силы выпучивания при промерзании грунтов слоя сезонного протаивания не превышают сил сцепления мерзлых грунтов с опорой ниже границы оттаивания и веса самой опоры. В местах распространения погребенных льдов котлованы засыпаются привозными грунтами. В таких случаях с особой важностью возникает необходимость сохранения мерзлого состояния грунтов на участке установки опор. Хотя в пределах засыпанного котлована нижняя граница многолетнемерзлых грунтов несколько понижается по сравнению с окружающей территорией, но при заложении опор на глубину 3—3,5 м устойчивость их вполне обеспечивается. Вертикальное давление от опор, в случае залегания в основании льда, воспринимается силами смерзания их с грунтом засыпки. В слабольдистых крупнообломочных грунтах при заглублении опор на 2,5 м обеспечивается их устойчивость без принятия каких-либо специальных мер по сохранению мерзлого состояния грунтов вокруг опор. В поймах рек опоры устанавливаются в ряжах или на сваях. Ряжи засыпаются крупнообломочным материалом, в отдельных случаях, во избежание размыва, вокруг ряжей делается наброска глыбового скального материала.

Опоры ЛЭП деформируются в основном в результате выпучивания мелкодисперсных грунтов в период зимнего промерзания и в результате осадки при протаивании под опорой грунтов, находившихся ранее в многолетнемерзлом состоянии. Кроме того, опоры деформируются (наклоняются) из-за оттаивания вокруг них грунтов или при образовании

на месте заложения опоры термокарстовых просадок, а также при смещении (течении) по склонам глинистых грунтов слоя сезонного протаивания. Вместе с тем при соблюдении надлежащих условий сооружения опор и при правильной их эксплуатации устойчивость может быть обеспечена даже при самых неблагоприятных грунтовых условиях.

В последние годы на севере Дальнего Востока начали применять металлические опоры. В зависимости от мерзлотно-грунтовых условий такие опоры устанавливаются на столбчатых либо свайных фундаментах. Пока достаточного опыта по строительству и эксплуатации металлических опор ЛЭП в условиях севера Дальнего Востока еще не имеется. В зоне глубокого сезонного промерзания проходка котлованов под опоры ЛЭП в отложениях пойм осуществляется, как правило, зимой при меженном уровне подземных вод. Основание опор защищают каменным покрытием, а в поймах сооружают земляные дамбы или волноломы.

Опоры ЛЭП на склонах чаще всего устанавливают после подрезки склонов и планировки. Основанием опор служат в основном грибовидные подножники, помещаемые в единый котлован. Для предотвращения размыва основания опор выше по склону роют дренажную канаву для перехвата временных поверхностных водотоков, а ниже по склону в некоторых случаях закрепляют насыпные в результате планировки грунты, чтобы предотвратить их переувлажнение и оползание. На юге Приморья опоры испытывают повышенные ветровые нагрузки, иногда превышающие нормативные в 1,5—2 раза и достигающие 125 кг/см² (район Находки). Чтобы ликвидировать угрозу разрушения опор ЛЭП из-за ветровых нагрузок, значительно сокращают расстояния между опорами иногда в два и более раза.

Строительство аэродромов

Большинство аэродромов севера Дальнего Востока построено на пойменных и надпойменных террасах речных долин, сложенных преимущественно многолетнемерзлыми гравийно-галечниковыми грунтами местами до глубины 1,5—3 м и более, прикрытыми льдистыми торфяно-суглинистыми отложениями. В зависимости от конкретных мерзлотно-грунтовых условий строительство аэродромов осуществляется с сохранением мерзлого состояния грунтов в основании насыпи летного поля либо с допущением оттаивания грунтов в процессе строительства и эксплуатации. В мерзлом состоянии грунты основания сохраняются на тех площадках, где мощным слоем залегают сильнольдистые и при промерзании пучинистые супеси и суглинки, дающие при оттаивании значительную осадку или полностью теряющие свои несущие способности. Мерзлое состояние грунтов сохраняется с помощью насыпи на ненарушенном растительном слое. Высота насыпи определяется теплотехническим расчетом.

По принципу сохранения мерзлого состояния грунтов построено большинство аэродромов в Заполярье. Наиболее распространенный вид деформаций аэродромов — неравномерная просадка насыпей, возникающая в результате оттаивания льдистых грунтов оснований. В центральной и южной частях зоны распространения многолетнемерзлых пород аэродромы построены преимущественно с допущением оттаивания грунтов. Этот принцип применяется на аэродромных площадках, сложенных слабольдистыми грунтами, которые при оттаивании не испытывают значительных осадков. Во избежание неравномерных осадков в отдель-

ных случаях применяется предварительное оттаивание грунтов основания насыпи путем тепловой мелиорации. Заменяются льдистые илы, суглинки, торф в основном на тех площадках или участках, где они прикрывают маломощным слоем слабопросадочные грунты.

Строительство трубопроводов

Для уменьшения стоимости строительства трубопроводов проводится дифференциация глубин их заложения в зависимости от грунтовых, мерзлотных и других условий, а также укладка труб в зоне промерзания грунтов на всем протяжении трубопроводов.

Дифференциация глубин заложения диктуется прежде всего большими различиями в глубинах промерзания в зависимости от микроклимата местности. Специальные наблюдения показали, что на юге Дальнего Востока диапазон глубин промерзания только в зависимости от экспозиции сопки или стены здания, у которой уложен трубопровод, достигает 80 см и более, а с учетом коэффициента теплопроводности грунтов, характера грунтовых вод или растительного покрова, температуры транспортируемой жидкости и других факторов достигает 2—2,5 м и более. При наличии грунтовых вод глубина промерзания на юге Дальнего Востока, как правило, не проникает ниже минимального их уровня, даже если этот уровень совсем близок к поверхности земли.

Большое значение имеет правильное планирование работ по борьбе с грунтовыми и поверхностными водами. Например, все переходы через реки и ручьи строят зимой и ранней весной, когда уровни грунтовых вод минимальные и когда можно использовать метод естественного замораживания для проходки траншей в переувлажненных грунтах. Поскольку на юге Дальнего Востока очень распространена верховодка, заболачивающая даже крутые склоны сопок, рекомендуется воды выше трассы отвести с нагорной стороны в кювет. Рытье траншей рекомендуется производить снизу вверх, т. е. от участков дорог у подошвы сопок к вершине, а рытье траншей для выпусков в первую очередь. Перечисленные рекомендации способствуют борьбе не только с водой в летнее время, но и с зимними наледями (Стоценко, 1970).

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Строительство плотин и создание водохранилищ

Накопленный к настоящему времени опыт строительства и эксплуатации плотин, расположенных в зоне распространения многолетнемерзлых пород, показывает, что большинство из них претерпевали или претерпевают значительные деформации и даже разрушения, вызванные, как правило, оттаиванием мерзлых пород в их основании. Все построенные плотины низконапорные. Напор не превышает 6—8 м, в отдельных случаях достигает 12—15,5 м. Плотины отсыпаны из местных строительных материалов. Длина их по гребню, как правило, 100—300 м, редко достигает 800 м и более (р. Мяунджа 840 м).

В зависимости от инженерно-геологических условий строительство плотин на многолетнемерзлых породах севера Дальнего Востока осуществляется по двум принципам: 1) на рыхлых слабольдистых грунтах с небольшими осадками при оттаивании без сохранения пород тела и основания плотины в мерзлом состоянии; 2) на рыхлых льдонасыщен-

ных грунтах значительной мощности с сохранением пород тела и основания плотины в мерзлом состоянии в течение всего срока ее эксплуатации. Плотины, построенные по первому принципу, получили название плотин талого типа — фильтрующие плотины; плотины, построенные по второму принципу,—мерзлотные с льдогрунтовой противофильтрационной завесой — нефильтрующие. Для предупреждения фильтрации воды через плотину в первом случае в ее основании устраивают, как правило, суглинистое ядро с зубом. При строительстве нефильтрующих плотин замораживают грунты ядра, низового откоса и основания плотины с помощью естественного или искусственного холода.

В результате образования огромного аккумулятора тепла, которым является водохранилище, многолетнемерзлые грунты ложа водохранилища начинают интенсивно оттаивать, иногда до глубины 30 м и более. С течением времени оттаивают и грунты в основании плотины. Процесс оттаивания усиливается, если в грунтах основания возникает фильтрационный поток. В результате оттаивания мерзлых грунтов изменяются их физико-механические свойства, несущая способность значительно снижается; происходят неизбежные осадки грунтов и резко возрастают их фильтрационные свойства. В случае возникновения даже незначительной фильтрации воды из водохранилища через основание плотины или береговые ее примыкания происходит вынос мелких частиц грунта, оттаивание ледяных прослойков или включений льда. При возникновении фильтрационного потока на контакте талых и мерзлых грунтов начинается оттаивание мерзлых грунтов вглубь.

У фильтрующих плотин оттаивание основания происходит под всей подошвой, у нефильтрующих оттаиванию подвержены только грунты под верховой призмой. Эксплуатационная надежность плотин талого типа, как показал опыт, зависит прежде всего от качества строительства. Наибольшую опасность при эксплуатации плотин талого типа вызывает оттаивание ледяных линз и льдонасыщенных грунтов в примыканиях в случае неполного и неправильного сопряжения зуба с коренными породами. Показательным в этом смысле является пример эксплуатации одной из плотин с максимальным напором 8,8 м в долине р. Верх. Ат-Урях (Магаданская обл.). Проектом предусматривалась укладка суглинистого экрана по верхнему откосу плотины. Экран с помощью зуба соединялся с коренными породами — песчано-глинистыми сланцами с глубиной срезки не менее 1 м. В борт долины зуб был врезан на глубину до 25 м и полностью пересекал линзы льда и льдонасыщенные илистые грунты. Однако сопряжение зуба с коренными породами по всей высоте траншеи, до отметки максимального горизонта верхнего бьефа, не было сделано. В связи с этим через месяц после наполнения водохранилища водой началась обходная фильтрация в береговом примыкании, вызванная образованием вертикальных щелей и пустот на контакте талого суглинка зуба и мерзлого сильнольдистого грунта и льда. На берегу наблюдались термокарстовые процессы, трещины, провалы и промывы, что привело в этом месте к полному разрушению плотины. Только после того как сильнольдистые грунты и лед были полностью прорезаны зубом до отметки максимального горизонта верхнего бьефа, плотина заработала нормально.

Устойчивость фильтрующих плотин при неглубоком залегании коренных пород во многом зависит и от степени просадочности самих коренных пород или их элювиального слоя при оттаивании. В случае, когда коренные породы сильно выветрены, льдонасыщены и просадочны при оттаивании, использование их в основании плотин требует особого подхода.

Комплекс конструктивных противофильтрационных мероприятий в сочетании с замораживающей системой должен обеспечивать мерзлое состояние тела и основания земляной плотины в течение всего эксплуатационного периода. Плотины, отсыпанные из талых слабофильтрующих грунтов, в суровых климатических условиях при наличии многолетнемерзлых пород и отсутствии фильтрации промораживаются даже без устройства морозильной системы. Строительство и эксплуатация плотин на многолетнемерзлых рыхлых породах немногочисленны. Все построенные на рыхлых льдонасыщенных породах плотины не имели статической и фильтрационной устойчивости, т. е. были ненадежными в эксплуатации. Почти все эти плотины претерпели значительные деформации или аварийные разрушения, основными причинами которых являются оттаивание и неравномерные осадки мерзлых льдонасыщенных пород в основании и береговых примыканиях под действием сосредоточенной фильтрации ниже противофильтрационных устройств. Интенсивное вытаивание льда в основании и береговых примыканиях плотин приводит к образованию пустот и провалов и к полной потере их статической устойчивости. Искусственное оттаивание подземных льдов вблизи береговых примыканий и их вытаивание приводят к образованию оврагов и к прорыву воды в обход плотины.

Первое крупное гидротехническое сооружение на юге Дальнего Востока построено в 1973 г. на р. Зее. Плотина ГЭС бетонная общей длиной по гребню 693 м, наибольшая высота 116 м. Минимальное превышение гребня плотины над уровнем водохранилища 2,3 м. Инженерно-геологические условия участка гидроузла осложнены наличием в массиве диоритов выше створа плотины крупных ксенолитов мраморизованных известняков, неравномерной водопроницаемостью диоритов по площади и по глубине на участке створа (водопоглощение при опытных нагнетаниях в скважины от 0,05 л/мин в береговых склонах до 100 л/мин под руслом) и высокой водопроницаемостью подрусловых галечников (коэффициент фильтрации до 500 м/сут). При строительстве плотины в качестве противофильтрационных мероприятий предусмотрена двухрядная противофильтрационная завеса на глубину не менее 60 м в русле и 50 м в берегах. В основании и примыканиях плотины произведена выемка рыхлых отложений и выветрелых коренных пород до глубины от 3 до 12 м.

Строительство каналов

Мелиоративные каналы на юге Дальнего Востока в основном строятся в земляных руслах без крепления. Ложе и откосы каналов сложены преимущественно суглинками и глинами со значительным содержанием пылеватых фракций. В период избыточного увлажнения в грунтах появляется верховодка, которая, выклиниваясь в канал, нарушает устойчивость грунтов в зоне дренирования. Работа каналов неравномерная, с частым наполнением и опорожнением их водой, что обусловлено ливневыми паводками. В связи с этим гидродинамические нагрузки также неравномерны. Связность грунтов в процессе эксплуатации постепенно нарушается, откосы выветриваются, на них появляются трещины, происходит обрушение пород. В период осушения канала влажность грунтов понижается. В результате этого в связных грунтах происходит усадка. При дальнейшем высыхании в грунте появляются поверхности пониженного сцепления, которые также приводят к образованию значительных деформаций. В зимнее время наблюдается пучение грунта и наледи.

В результате совместного действия гидрологического и термического режимов физические свойства грунтов, слагающих ложе и откосы каналов, изменяются в сторону уменьшения их плотности и величины сил сцепления между частицами. Построенные каналы оказываются недолговечными. Откосы и ложе канала подвергаются размывам, размоканию и обрушению, в результате чего в верховьях канал интенсивно размывается, а в устьевых частях полностью заиливается и зарастает растительностью.

Дальневосточным Промстройниипроектом проведены исследования деформаций откосов и ложа каналов. Рекомендована как наиболее устойчивая форма поперечного сечения квадратичная парабола. Относительно устойчивы трапецеидальные сечения с откосами 1 : 1,5 для мелких каналов и 1 : 2 для каналов глубиной 1—3 м (Пискун, 1966). Глубина каналов изменяется в зависимости от типа заболоченности и геолого-гидрологического строения отдельных участков от 0,9 до 3,5 м.

Портовое строительство

В основной комплекс работ, выполняемых в процессе строительства новых, расширения и реконструкции существующих портов, входят: 1) углубление дна; 2) подготовка территории под строительство; 3) строительство гидротехнических (причальных) сооружений. Углубление дна включает в себя устройство котлованов в основании причалов, реже оно выполняется для регулирования грунтов в образуемую территорию. Опыт показывает, что инженерно-геологическая обстановка (в частности литологический состав и физическое состояние пород) оказывает на производство этих работ меньшее влияние, чем гидрологические факторы, определяющие степень динамичности берегов и дна акватории. В закрытых бухтах, в условиях достаточной стабильности берегов и дна, углубление дна в целом эффективно: котлованы, заложенные даже в водонасыщенные песчано-илистые грунты, при соблюдении рекомендованных величин откосов существуют без значительных деформаций достаточно долго (в течение нескольких лет), объемы восстановительных работ, как правило, небольшие. На участках с большой динамичностью берегов и дна углубление его не рекомендуется. Углубительные работы здесь привели бы к нарушению профиля равновесия подводного берегового склона, и подводные котлованы были бы замыты в первый же шторм.

Подготовка территории в портах Дальнего Востока осуществляется в основном за счет разработки местных пород и в меньшей степени за счет привозного материала. Практика показывает, что для этого можно использовать все породы, слагающие береговые уступы. Качество материала и затраты на производство работ могут оказаться существенно различны.

В существующих портах Южного Приморья наиболее распространено строительство набережных из бетонных массивов и больверк из металлического шпунта, которым в последние годы отдается предпочтение. Эта тенденция имеет четкое инженерно-геологическое обоснование, поскольку с переходом на большие глубины возрастает и мощность слабых илистых грунтов, что ограничивает, а в отдельных случаях и вообще исключает возможность применения массивной кладки.

При строительстве ряда крупных гидротехнических сооружений в портах Приморья (судоремонтных пирсов в бухтах Славянка и Находка) применяли основания из железобетонных колонн-оболочек диамет-

ром 1,6 м, погружаемых вибраторами. В условиях Южного Приморья применение таких оснований менее эффективно, поскольку погружение колонн-оболочек в плотные делювиальные и элювиальные суглинки оказывается возможным только при одновременной выемке грунта из полости оболочек. Выемка же грунта существенно снижает несущую способность основания. Использование колонн-оболочек должно быть тесно увязано с инженерно-геологической обстановкой в пределах отдельных акваторий, где осуществляется или планируется портовое строительство.

СТРОИТЕЛЬСТВО ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Опыт отработки подземным способом каменноугольных и бурогольных месторождений Артемо-Таврической депрессии показывает, что при вскрытии наиболее обводненных локально расположенных участков возможны затруднения, связанные с организацией откачечных работ. Как правило, после многодневной откачки количество воды резко убывает, что говорит о наличии только статических запасов подземных вод или о незначительном их притоке. В некоторых случаях, особенно когда вскрыты подземные воды, имеющие связь с поверхностными водотоками, можно ожидать более серьезных осложнений.

Значительно меньше влияют подземные воды на разработку бурых углей в кайнозойских слабо литифицированных породах. Здесь очень широко развиты процессы пучения глинистых аргиллитов, интенсивно проявляющиеся при снятии с пород горного давления. Нередки случаи разрушения или частичной деформации бетонной или металлической крепи (Делигоров, 1949). Кроме пучения возможны случаи встречи плывунов или песчаных пород по своим свойствам, близких к ним.

Наиболее экономичным открытым способом в Приморье отрабатываются преимущественно бурые угли кайнозойских депрессий. Основная трудность при открытой отработке связана с подземными водами. Бурые угли залегают в песчано-глинистых, преимущественно эоцен-олигоценовых, слабо литифицированных отложениях. Пестрота литологического состава и фациальная изменчивость пород определяют сложность и неоднородность гидрогеологических условий месторождений бурого угля. Вскрываемые подземные воды почти всегда обладают напором. Преобладание глинистого материала в составе угленосных образований не дает возможности организовать централизованный водозабор, что связано со слабой водоотдачей углесодержащих пород. Это обстоятельство затрудняет открытую отработку угля на месторождениях Приморья. В карьерах очень часто присутствует вода, когда поступает из относительно пористых пород на границе их с водоупорными слоями, что приводит к возникновению нежелательных последствий.

Все это требует проведения целенаправленных исследований для выяснения характера слоистости и направления падения пластов, установления мест концентрации подземных вод и организации их отвода, изучения физико-механических свойств и устойчивости пород в бортах карьеров и др.

ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Многолетний опыт проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений в специфических природных условиях Дальнего

Востока выявил многообразие процессов и явлений, вызываемых или активизируемых инженерной деятельностью человека, нарушающей равновесие между компонентами природной обстановки. Выбор метода строительства, назначение глубин заложения и конструкции фундаментов, установление режима эксплуатации инженерных сооружений должны базироваться на данных прогноза мерзлотных условий, возможных случаев новообразования или деградации многолетнемерзлых пород. В настоящее время разработаны методы прогнозирования только для отдельных зданий и линейных сооружений. Основой прогноза мерзлотных условий является исследование динамики многолетнемерзлого и сезонноталого слоев.

В практике инженерно-геологических изысканий на описываемой территории составлялись прогнозы изменения мерзлотных условий под влиянием линейных сооружений аналитическими методами. Дальгипротрансом в 1968 г. моделированием на ЭВМ был дан прогноз глубины протаивания-промерзания пород, скорости этих процессов с учетом инфильтрации атмосферных осадков под железнодорожными насыпями Байкало-Амурской магистрали на участке Ср. Ургал — Комсомольск-на-Амуре. Дальневосточным Промстройниипроектом на гидроинтеграторе Лукьянова определялась динамика сезонного промерзания-оттаивания грунтов под влиянием второй очереди нефтепровода Оха — Комсомольск-на-Амуре. Расчетными методами в повседневной инженерной практике определяется динамика температурного поля грунтов под тепловым влиянием отдельно стоящих зданий и сооружений.

При площадной застройке формирование температурных полей в ее чертс определяется общей направленностью теплового процесса в грунтах. Изменение температурно-влажностного режима грунтов на застроенных территориях происходит как под непосредственным влиянием температурного поля здания (сооружения), так и под влиянием изменения микроклиматических и гидрогеологических условий на застроенной и прилегающих территориях в результате проведения комплекса мероприятий по предпостроечной подготовке и освоению: планировки, предпостроечного осушения территории, создания сети траншей подземных коммуникаций, нарушающих на значительных площадях природное сложение грунтов; уничтожения растительности и почвенного покрова, уплотнения или удаления снежного покрова; создания на значительных площадях искусственных покрытий; задымления атмосферы и др.

Вопросами составления мерзлотных прогнозов в настоящее время занимаются многие организации, однако единого подхода к решению этой сложной проблемы пока нет. В основу методики прогноза изменения мерзлотных условий, разработанной В. А. Кудрявцевым (1973), положен анализ изменения радиационно-теплового баланса поверхности в связи со строительством, учитывающий такие факторы, как нарушение растительного покрова, удаление снега, дренирование грунтов, инфильтрацию теплых летних осадков и др.

В настоящее время основной задачей прогноза изменения инженерно-геологических условий в результате освоения территории Дальнего Востока, по-видимому, следует считать прогноз инженерно-геологических процессов и явлений, вызываемых или активизируемых деятельностью человека на основе анализа строительства в основных строительных зонах Дальнего Востока, характеризующихся общностью рельефа, климата и мерзлотно-грунтовых условий.

В соответствии со схемой инженерно-геокриологического расчленения области развития многолетнемерзлых пород в пределах СССР

описываемая часть территории Дальнего Востока относится к северной зоне с величиной радиационно-теплового баланса 20—25 ккал/см². По климатическим условиям эта зона включает в себя две подзоны: приморскую и континентальную. Причем на территории сплошного распространения многолетнемерзлых пород выделяются обе подзоны, а на территории островного и прерывистого распространения многолетнемерзлых пород только приморская подзона.

Зона сплошного распространения низкотемпературных (ниже —2,5°) многолетнемерзлых грунтов

На основании данных практики строительства и эксплуатации зданий и сооружений на мерзлых непросадочных или слабопросадочных при оттаивании крупнообломочных грунтах можно предполагать, что при небольшой плотности застройки, низком уровне благоустройства территории и слабом развитии инженерных коммуникаций под отапливаемыми жилыми и промышленными зданиями, построенными с проветриваемыми подпольями, в процессе их эксплуатации будет происходить постепенное понижение температуры грунтов основания как в зоне расположения фундаментов, так и ниже. Глубина сезонного протаивания под зданиями будет значительно меньше, чем на незастроенной территории.

Изменение мерзлотных условий в связи с застройкой территории изучалось ВНИИ-1 в пос. Мяунджа Магаданской обл. Для этого было оборудовано 75 температурных скважин, которые располагались под домами, между домами и в окрестностях поселка на площадке с нарушенным торфо-растительным покровом. Наблюдениями установлено, что при сохранении прочих условий уничтожение торфо-растительного слоя повышает среднегодовые и летние температуры верхних слоев грунтов. Удаление и уплотнение снежного покрова понижают среднегодовые и зимние температуры грунтов. На улицах и во дворах происходит постепенное понижение среднегодовых температур грунтов, стремящихся к среднегодовой температуре воздуха: среднегодовая температура в верхнем слое грунтов за восемь лет существования пос. Мяунджа понизилась на 3—4°, а на глубине 20 м — только на 1,5°. Отмечено также различное изменение температуры в зависимости от экспозиции относительно стран света. С северной стороны зданий без проветриваемых подполий среднегодовые температуры грунтов в верхнем двухметровом слое понизились на 3—5°; с южной стороны здания они повысились на 2—3°.

Большое тепловое влияние зданий и сооружений на температурный режим грунтов их оснований оказывают фильтрационные потоки грунтовых вод на застроенной территории. Известно, что мерзлые грунты после оттаивания обладают повышенной фильтрационной способностью, особенно в направлении простирания вытаявших ледяных прослойков и линз. На участках с грунтовыми водами в зоне расположения фундаментов под всеми отапливаемыми зданиями пос. Мяунджи среднегодовые температуры грунтов повысились. Причем под зданиями без подполий образовались талики глубиной 4—5 м, что вызвало осадку и разрушение внутренних стен некоторых зданий. Наружные фундаменты зданий при отсутствии вблизи вводов теплосети большей частью нахо-

дились в мерзлых грунтах. В местах вводов труб теплосети грунты основания фундаментов оттаяли. Под многими зданиями оттаивание грунтов ускорялось водой, поступавшей в грунты основания во время аварий отопительной системы, водопровода и канализации. Сохранять основание в мерзлом состоянии под отдельными зданиями и сооружениями в пределах застроенной территории при фильтрационных потоках практически невозможно. Поэтому при проектировании и строительстве необходимо предусматривать специальные мероприятия по предотвращению фильтрации: мерзлотные завесы, глиняные замки и др.

На участках распространения льдонасыщенных пылеватых супесей, суглинков и илов, содержащих как тонкие прослои, так и мощные скопления погребенных льдов, нарушение растительно-торфяного покрова, проникновение атмосферных вод приводят к оттаиванию грунтов и вытаиванию ледяных тел. В результате этого образуются каналы, воронки, провалы различных размеров, искажающие естественную поверхность речных террас и пологих склонов. Строительство на таких участках капитальных зданий и сооружений может привести к катастрофическим последствиям, так как даже в том случае, если проектом предусматриваются и при строительстве принимаются меры к сохранению мерзлого состояния грунтов в основании этих зданий и сооружений, то уже в процессе строительства происходит нарушение растительно-торфяного слоя при подвозке строительных материалов, установке оборудования, механизмов и др. Тем не менее в подобных условиях, характерных для всех впадин описываемой территории (Раучуа-Чаунской, Приморской, Анадырской и др.), единственно возможным является строительство с сохранением грунтов основания в мерзлом состоянии. Основным условием успешного осуществления строительства по этому принципу являются меры, исключающие оттаивание грунтов в ходе строительства. Планировку площадок следует делать путем подсыпки грунтов. Необходимы меры для сохранения или восстановления растительного покрова, для тщательного и организованного водоотвода. Работы, которые могут вызвать оттаивание грунтов, следует выполнять преимущественно зимой.

Важным условием успешного строительства по принципу сохранения мерзлых грунтов оснований зданий и сооружений является соблюдение этого принципа при осуществлении всех видов строительства на данной площадке и на окружающей ее территории: при планировке, прокладке инженерных коммуникаций — сетей водопроводов, теплоснабжения и канализации и др. Автомобильные дороги должны строиться только на насыпях. Особое внимание должно уделяться отводу и пропуску поверхностных вод под телом насыпи.

Опыт строительства в горной части зоны сплошного распространения многолетнемерзлых пород показал, что в результате деятельности человека (проходка горных и дорожных выемок, взрывные работы и др.) могут приводиться в движение массы грунта небольших размеров в пределах слоя сезонного протаивания, а также сползание или быстрое скатывание отдельных глыб по склону к его подошве, осложняющие условия эксплуатации автомобильных дорог, проложенных у подножий склонов. Такие явления наблюдаются в бассейне р. Колымы по автодороге в пос. Таскан, на крутом склоне долины р. Неры, по автодороге до Усть-Неры и др. Однако такие явления не бывают больших масштабов. Поэтому в пределах глыбово-щебнистых осыпей на склонах строительство автодорог следует осуществлять в неглубоких выемках, в которых мерзлый материал осыпей будет сохранять устойчивое равновесие даже при вертикальном откосе, летом будет оттаивать

и осыпаться только незначительная часть верхнего слоя грунта.

Хозяйственная деятельность человека в пределах строительных площадок и разработок месторождений на склонах может приводить к глубокому преобразованию рельефа. Так, в северной части Яно-Омолойского междуречья в 1967—1968 гг. скорость понижения поверхности склона в результате сноса отложений достигла 1—3 см/сут. На одном из участков площадью 0,4 км^2, сложенном озерно-аллювиальными суглинками с мощными линзами льда, за 3 года было вынесено около 1 млн. м^3 грунта (в среднем 3000 м^3/сут). В результате этого поверхность склона понизилась на 2—4 м и на нем образовались байджарахи, а в отдельных местах — глубокие промоины.

Создание водохранилищ в зоне распространения многолетнемерзлых пород Дальнего Востока может вызвать резкое изменение естественного термического режима льдонасыщенных грунтов и интенсифицировать естественные процессы вытаивания подземных льдов в зоне влияния водохранилищ. В последнем случае могут образоваться термокарстовые провалы, трещины и полости, через которые будет происходить сосредоточенная фильтрация из водохранилища. Скорость вытаивания льдов в береговых обрывах и разрушения обрывов, сложенных сильнольдистыми пылеватыми глинистыми грунтами, зависит от физико-механических свойств вмещающих пород и в одинаковых климатических условиях может значительно изменяться. При врезке плотин и водосброса в льдистые грунты береговых отложений их структура и естественный температурный режим будут претерпевать значительные изменения, не поддающиеся точному теоретическому прогнозу, особенно при наличии крупных ледяных включений. Следует считать, что одной из основных причин возможных деформаций и аварий плотин, построенных на льдистых основаниях, может явиться термокарст, обусловленный тепловым влиянием водохранилища в сочетании с обходной фильтрацией в сопряжениях.

Зона островного распространения высокотемпературных (—2,5—0°) многолетнемерзлых пород

Эта территория отнесена к Приморской подзоне. Освоение здесь участков должно приводить к сокращению распространения многолетнемерзлой толщи, повышению ее температуры и увеличению глубины сезонного протаивания. Это справедливо, если рассматривать конкретный объект, возведенный на участках с многолетнемерзлыми грунтами: отапливаемое здание, сети инженерных коммуникаций, под которыми и вдоль которых из-за их отепляющего воздействия действительно происходит оттаивание мерзлых грунтов, уменьшение мощности и повышение температуры. Практика показывает, что возведение неотапливаемых зданий, покрытие площадей бетоном и асфальтом, возведение насыпей автомобильных дорог, уничтожение растительного слоя, уборка снега и другие мероприятия чаще всего приводят к увеличению мощности или образованию новых толщ мерзлых пород.

Строительство отапливаемых зданий, как правило, ведет к деградации мерзлого состояния грунтов. Строительство по методу сохранения многолетнемерзлого состояния грунтов основания требует дорогостоящих мероприятий по искусственному охлаждению и сохранению отрицательной температуры грунтов оснований зданий и сооружений. Тем-

пература грунтов в пос. Стройгородок Амурской обл. с 1951 по 1957 г. повысились в среднем на 0,5—0,7° на талых участках и на 1° на участках с многолетней мерзлотой. При освоении массивов талых грунтов в пределах данной зоны наблюдаются различные процессы и явления, которые в целом характерны для зоны глубокого зимнего промерзания грунтов. Застройка территории в районе Магадана, сопровождающаяся нарушением растительного слоя, удалением или уплотнением снега, существенно увеличила глубину промерзания грунтов. Самая низкая температура грунтов —1° на задернованной площадке на глубине 1,6 м наблюдается в апреле, а на площадке, лишенной растительного покрова, она наблюдается уже в марте и достигает —4,9°. Самая высокая температура +7,8° на площадке без растительного покрова наблюдается в августе, а на задернованной +4,3° только в сентябре.

При застройке территории высокими неотапливаемыми зданиями могут создаваться особо неблагоприятные условия промерзания грунтов с северной их стороны, где поверхность грунта оказывается затененной и поэтому исключается воздействие прямой солнечной радиации. Во время длительного строительства (2—3 года) глубина промерзания грунта может увеличиваться в 1,2—1,4 раза, по сравнению с нормативной на незастроенной территории. При увеличении глубины зимнего промерзания возникает угроза морозного пучения грунтов. Прогнозирование процессов пучения затруднительно, так как до сих пор четко не установлено, при каких условиях те или иные грунты испытывают пучение. Нерешенным остается также вопрос прогноза влажности грунта перед промерзанием, в частности у зданий.

В южной части зоны распространения многолетнемерзлых пород при значительных площадях водохранилищ (площадь Зейского водохранилища 260 тыс. га), по данным А. В. Стоценко (1959), предполагается изменение климата не только по режиму влаги, но и по режиму тепла: зимняя температура повысится на 2—3°, а летняя понизится на 1—2°. Относительная влажность повысится на 5%. Такое изменение микроклимата вызовет активизацию криогенных процессов, усилит движение рыхлых отложений на склонах. Это потребует особо тщательного ведения лесного хозяйства, ограничения рубки лесов на склонах и, возможно, организаций лесопосадок для закрепления склонов. Многие процессы, имевшие в природных условиях прерывистый характер, в связи с зарегулированием стока станут развиваться постоянно. Так, на пойме, косах и песчаных островах во время межени разовьются эоловые процессы, создающие песчаные гривы и дюны. В период летних паводков эоловая аккумуляция сменится аллювиальным переотложением материала, а при спаде вод — эрозией. После того как ниже зоны водохранилища режим будет отрегулирован, эоловые процессы станут развиваться круглогодично.

Комплекс рельефообразующих процессов, протекающих на равнинах бассейна р. Зеи, не изменится и после осуществления гидростроительства и зарегулирования стока этой реки, но иным будет сочетание различных процессов и их географическое распространение, что необходимо учесть в практике. Так, например, центр борьбы с эрозией предстоит перенести ниже водохранилищ, а по побережью водохранилища предусмотреть борьбу с заболоченностью (Никольская, 1963).

Освоение участков речных долин с незначительной мощностью аллювиального водоносного горизонта и близким залеганием уровня грунтовых вод, сопровождающееся уничтожением леса, кустарника и мохоторфяного покрова с уменьшением мощности снежного покрова, может сопровождаться увеличением глубины сезонного промерзания, создани-

ем мерзлотного барьера при промерзании подземных вод и выклиниванием грунтового потока выше осваиваемого участка с образованием наледи.

Зона глубокого сезонного промерзания пород

В процессе инженерного освоения территории, строительства и эксплуатации сооружений следует учитывать возможность изменения гидрогеологических условий площадок, повышения влажности грунтов в зоне аэрации, а в некоторых случаях образования верховодки или горизонта грунтовых вод. Последнее приводит к морозному пучению пылеватых и глинистых грунтов, вызывающему деформацию легких зданий и сооружений и затопление подвалов в теплый период года.

Сотрудниками лаборатории оснований и фундаментов Дальневосточного Промстройниипроекта на основании анализа причин затопления в период эксплуатации подвальных помещений и специальных наблюдений на опытных участках сделан вывод, что основным фактором, обусловливающим накопление влаги в глинистых грунтах зоны аэрации на территории юга Дальнего Востока, является нарушение природного сложения глинистых грунтов оснований. Как показали подсчеты, объемы обратных засыпок и насыпных грунтов на застроенных территориях составляют до 0,9 м^3 на каждый квадратный метр микрорайона площадью в 17 га. Вода, вызывающая затопление подвалов, формируется в обратных засыпках не только пазух котлованов, но и траншей различных коммуникаций (водопровод, канализация, трассы тепло- и энергоснабжения и др.). Как показал эксперимент на опытном участке Владивостока, грунтовые воды в обратных засыпках сохраняются семь-восемь месяцев в году. В связи с этим устанавливается устойчивый инфильтрационный поток через природный грунт ненарушенного сложения ниже поверхности дна котлованов, траншей, шурфов и других выработок, который при достаточной водопроницаемости грунтов зоны аэрации обеспечивает постепенный куполообразный подъем уровня грунтовых вод на застроенных территориях. Обогащение природных грунтов водой за счет обратных засыпок с глубиной интенсифицируется.

При строительстве на склонах в зоне глубокого сезонного промерзания следует учитывать возможность нарушения условий питания подземных вод и распределения позднего и поверхностного стока.

Строительство транспортных магистралей параллельно склону нарушает естественные условия поверхностного стока ливневых и талых вод по долинам ручьев и логов, не имеющих постоянных водотоков. Вырубка леса и уничтожение дернового покрова на склонах могут вызвать перераспределение естественного поверхностного стока и создать условия для прогрессирующего размыва рыхлых отложений, для образования и роста оврагов.

Котлованы, траншеи и другие строительные выработки, а также застроенные площади без внутриквартальной ливневой канализации способствуют накоплению и инфильтрации атмосферных осадков и могут создать новые направления стока поверхностных и фильтрации подземных вод. Незаконченность или некачественное исполнение системы поверхностного водоотвода также может явиться причиной дополнительного увлажнения рыхлых отложений. Действующие санитарно-технические системы в результате утечек и прорывов воды могут вызывать искусственное дополнительное увлажнение рыхлых отложений, что влечет за

собой ослабление и разрушение природных структурных связей в пылеватых супесях и суглинках и обусловит местные нарушения устойчивости склонов и откосов, сформировавшихся в естественных условиях.

Таково современное состояние вопроса по прогнозированию изменений природных условий Дальнего Востока в результате инженерной деятельности человека. Даже столь краткое и во многом несовершенное рассмотрение этой проблемы дает основание говорить о ее большой практической значимости и ставит своей целью не столько решение проблемы, сколько попытку привлечь внимание широкого круга специалистов и организаций к необходимости анализа и обобщения опыта строительства, разработки научно обоснованных методов прогноза изменения природных условий под влиянием деятельности человека, мероприятий по борьбе с вредными последствиями возникновения инженерно-геологических процессов и явлений для обеспечения устойчивости возводимых сооружений, сохранения среды обитания и рационального использования недр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Авегисов Г. П., Голубков В. С. Тектоно-сейсмическое районирование Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана и сопредельных акваторий. В сб.: «Геология и полезные ископаемые Севера Сибирской платформы». Л., 1971.

Айдла Т. А. Освоение метода предпостроечного оттаивания грунтов основания. Изд. Магаданского совнархоза, 1962.

Айдла Т. А., Триничер Ю. К. О проекте и осуществлении предпостроечной гидрооттайки грунтов основания главного корпуса Аркагалинской ГРЭС. «Тр. VI Всесоюз. совещания-семинара по обмену опытом стр-ва в суровых климат. условиях». Красноярск, 1970.

Ананьев Г. С. Следы деятельности селей в верховьях р. Колымы. «Вестн. Моск. ун-та», сер. 5, геология, 1967, № 2.

Анисимов В. М., Петров Е. С. Режим уровней почвенно-грунтовых вод на болотах Средне-Амурской низменности и его связь с осадками. В сб.: «Геоморфол., ландшафтные и биогеохим. исслед. в Приамурье». М., «Наука», 1968.

Анисимов Ю. Е. Геокриологические условия г. Магадана и методы строительства сооружений. «Тр. IV совещания-семинара по обмену опытом стр-ва в суровых климат. условиях». Воркута, 1966.

Артемов А. В. Новейшая тектоника и история развития Северного Приохотья и бассейна верхнего течения р. Колымы в неоген-четвертичное время. Автореф канд. дис. М., 1972.

Архангелов А. А., Шер А. В. К вопросу о возрасте многолетней мерзлоты на крайнем Северо-Востоке СССР. II Междунар конф. по мерзлотоведению. Якутск, 1973, вып. 3.

Афанасьева Н. С. Основные черты эоценового магматизма Пенжинского прогиба (СВ СССР). «Изв. вузов. Геология и разведка», 1972, № 11.

Ахметьев М. А., Ботылева Л. П. Неоген-четвертичные андезито-базальты Восточного Сихотэ-Алиня. В сб.: «Петрология неогено-четвертичных базальтоидов северо-западного сектора Тихоокеанского подвижного пояса». М., «Недра», 1971.

Баранов И. Я., Кудрявцев В. А. Многолетнемерзлые горные породы Евразии. В кн.: «Докл. на Междунар. конф. по мерзлотовед.». М., Изд-во АН СССР, 1963.

Баранова Ю. П. К истории развития рельефа Нижне-Анадырской низменности и окружающих ее гор в четвертичном периоде. «Геология и геофизика», 1960, № 12.

Баранова Ю. П., Бискэ С. Ф. История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. Северо-Восток СССР. М., «Наука», 1964.

Баранова Ю. П., Бискэ С. Ф. Развитие морфоструктур Северо-Востока Сибири в мезозое и кайнозое. М., «Наука», 1967.

Баранова Ю. П., Бискэ С. Ф., Гончаров В. Ф. и др. (под редакцией В. Н. Сакс). Кайнозой Северо-Востока СССР, вып. 38. М., «Наука», 1968.

Белый В. Ф. Вулканические формации и стратиграфия северной части Охотско-Чукотского пояса. М., «Наука», 1969.

Белый В. Ф. Главные типы вулканических поясов в областях мезозойского тектогенеза Восточной Азии. В кн.: «Мезозойский тектогенез». Магадан, 1971.

Белый В. Ф., Тильман С. М., Шило Н. А. Глубинное строение и тектоническое положение Охотско-Чукотского вулканического пояса. В кн.: «Вулканические и вулкано-плутонические формации». М., «Наука», 1966.

Бершицкий С. А. Особенности верхнемелового-раннечетвертичного осадконакопления в пределах Амуро-Зейской впадины. В сб.: «Вопр. геол., геохим. и металлогении Сев.-Зап. сектора Тихоокеанского пояса». Владивосток, 1970.

Бессонова Т. В. О некоторых причинах деформации откосов выемок южной части ДВЖД (Приморье). «Мат-лы XXVI науч.-техн. конф. кафедр Хабар. ин-та инж. ж.-д. трансп. с участием предст. ж. д., пром. и строит. предпр. Дал. Вост.», вып. 2. Хабаровск, 1969.

Бойко В. А. О причинах образования оползней в Хабаровском крае. «Мат-лы XXII науч.-техн. конф. кафедр Хабар. ин-та инж. ж.-д. трансп. с участием предст. ж. д., пром. и строит. предпр. Дал. Вост.». Хабаровск, 1963.

Бойко В. А., Орехов А. В. Минералогический состав глин района г. Хабаровска и Амурской области. «Тр. Хабар. политехн. ин-та», вып. 19. Хабаровск, 1969 (1970).

Борисов Л. А. Современные вертикальные движения моря Лаптевых. «Океанология». М., изд. АН СССР, Океанографическая комиссия, 1973. Т. XIII, вып. 5.

Бурилина Л. В. Литологическая характеристика и условия осадконакопления кайнозойских отложений Амуро-Зейской депрессии. В кн.: «Геол. и палеогр. условия формирования мезокайнозойских континентальных впадин южной части Дальнего Востока». М., «Наука», 1965.

Бурилина Л. В. Литолого-минералогическая характеристика третичных отложений Амуро-Зейской депрессии. Информ. сб. ВСЕГЕИ. Л., 1959.

Бутузова О. В. Почвы Ханкайской равнины Приморского края. Автореф канд дис. М., 1953.

Варнавский В. Г. Литология и условия формирования палеогеновых и неогеновых отложений Средне-Амурской впадины. «Мат-лы VIII конф. молодых ученых Дальнего Востока». Владивосток, 1965.

Варнавский В. Г. Литология, фации и палеографическая обстановка третичного осадконакопления на территории Хабаровского р-на. В сб.: «Геоморф., палеография, геолог., полезн. ископаемые Приамурья». Хабаровск, 1964.

Варнавский В. Г. Геоструктурное положение и особенности строения Средне-Амурской впадины. «Мат-лы III конф. молодых ученых Дальнего Востока». Владивосток, 1965.

Варнавский В. Г. Палеогеновые и неогеновые отложения Средне-Амурской впадины. М., «Наука», 1971.

Васьковский А. П. Схема геоморфологического устройства и районирования Крайнего Северо-Востока СССР в картографическом выражении. «Мат-лы по геол. и полезн. ископ. Сев.-Вост. СССР», вып. 16. Магадан, 1963.

Ведерников Л. Е. Мерзлотные процессы в теле и основании плотины на р. Мяундже. «Тр. ВНИИ-I», т. XXII. Магадан, 1963.

Ведерников Л. Е. Некоторые итоги исследований в области инженерного мерзлотоведения Северо-Востока СССР. «Тр. ВНИИ-I», т. XIII. Магадан, 1964.

Ведерников Л. Е. К инженерно-геологической характеристике мерзлых коренных пород Северо-Востока СССР. «Тр. ВНИИ-I», т. XXIX. Магадан, 1969.

Велли Ю. Я. Устойчивость зданий и сооружений в Арктике. Л., Стройиздат, 1973.

Велли Ю. Я., Маков Ю. М. Исследование температурного режима вентилируемых подполий в Арктике. «Тр. IV совещания-семинара по обмену опытом стр-ва в суровых климат. условиях». Воркута, 1966.

Вихерт А. В. Некоторые историко-геологические особенности условий формирования отложений верхоянского комплекса в северо-западной части Яно-Колымской геосинклинальной области. «Тр. Межвед. совещ. по разраб. унифиц. стратигр. схем Северо-Востока». Магадан, 1959.

Власов Г. М. Об изменении климата в палеогеновое и неогеновое время на территории Дальнего Востока. ДАН СССР, т. 157, № 3, 1964.

Вопросы регионального инженерно-геологического изучения территории СССР. «Тр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та гидрогеологии и инженерной геологии», вып. 43. М., 1971.

Воскресенский С. С. Палеография Дальнего Востока в кайнозое. «Вестн. Моск. ун-та», сер. геогр., 1971, № 6.

Втюрин Б. И. Криогенное строение четвертичных отложений (на примере Анадырской низменности). М., «Наука», 1964.

Втюрин Б. И., Гасанов Ш. Ш. К истории формирования многолетнемерзлых пород Нижне-Анадырской низменности. «Тр. Ин-та мерзлотоведения АН СССР», 1962, вып. 18.

Втюрина Е. А. Высотная геокриологическая поясность в пределах СССР. «Тр. ПНИИИС», т. II. Геокриологические исследования при инженерных изысканиях. М., 1970.

Гавриш Ю. Е. Прогноз и искусственное регулирование температурного режима грунтов в периоды строительства и эксплуатации зданий и сооружений (обзорный доклад). «Тр. IV совещания-семинара по обмену опытом стр-ва в суровых климат. условиях». Красноярск, 1970.

Гаретин Г. С. Основные этапы истории развития рельефа Приморья. «Мат-лы по четвертичной геологии и геоморфологии СССР», нов. сер., вып. 1. Л., 1956.

Гасанов Ш. Ш. Строение и история формирования мерзлых пород Восточной Чукотки. М., «Наука», 1969.

Геологическое строение и условия осадконакопления на территории Сучанского каменноугольного бассейна. М., изд. СО АН СССР, 1965.

Геологическое строение северо-западной части Тихоокеанского подвижного пояса. М., «Недра», 1966.

Геология и инженерная геология Верхнего Амура. Ред. Г. П. Леонов и Е. М. Сергеев. Изд-во МГУ, 1962.

Геохимические циклы Дальнего Востока. Владивосток, СО АН СССР, 1969.

Гидрогеология и инженерная геология. Международный геологический конгресс, XXIV сессия. Докл. сов. геологов. М., «Наука», 1972.

Голодковская Г. А. О влиянии тектонических процессов на формирование инженерно-геологических свойств горных пород. В кн.: «Вопр. инж. геолог. и грунтовед.», вып. 2. М., 1968.

Голодковская Г. А., Дубровкин В. Л., Чурилов М. В. Теоретические вопросы региональной инженерной геологии и методы инженерно-геологического картирования. «Тр. науч.-техн. совещ. по гидрогеолог. и инж. геолог.», вып. 5. М., 1969.

Гольдтман В. Г., Знаменский В. В., Чистопольский С. Д. Гидравлическое оттаивание мерзлых пород. «Тр. ВНИИ-1», т. 30. Магадан, 1970.

Гольдтман В. Г., Сезоненко Е. В. Температура и мощность многолетней толщи в литосферы в горных районах Северо-Востока. «Тр. ВНИИ-1». Мерзлотоведение, вып. 22. Магадан, 1961.

Гончаров Ю. М. Рациональные методы производства работ по устройству свайных фундаментов в вечномерзлых грунтах. «Основания, фундаменты и подземные сооружения», вып. 2. М., «Высшая школа», 1972.

Гончаров Ю. М., Жигульский А. А. и др. К вопросу о пересмотре нормативных сопротивлений сдвигу и коэффициента однородности грунтов вокруг свай, погружаемых методом парооттайки. «Тр. совещания-семинара по обмену опытом строительства на вечномерзлых грунтах». Магадан, 1964.

Гончаров Ю. М., Ким М. В. О проекте инструкции по эксплуатации зданий и сооружений, построенных в районах распространения вечномерзлых грунтов по методам I, III и IV. «Тр. совещания-семинара по обмену опытом строительства на вечномерзлых грунтах». Магадан, 1964.

Горькова И. М. Инженерные свойства дисперсных осадочных пород и формирующие их геологические процессы. «Тр. ПНИИИСа Госстроя СССР», т. IV. М., 1970.

Горькова И. М. Коллоидно-химические исследования осадочных пород в инженерно-геологических целях. «Тр. ПНИИИСа», т. VII. М., 1971.

Граве Н. А. Основные черты и закономерности развития толщ многолетнемерзлых пород на крайнем северо-востоке Азии. «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1959, вып. 6.

Гравис Г. Ф. Ледяные жилы в делювиально-солифлюкционных отложениях. В сб.: «Вопросы геогр. Якутии». Якутск, 1962.

Григорьев И. Ф. Многолетнемерзлые породы Приморской зоны Якутии. М., «Наука», 1966.

Гроссгейм В. А. Строение и условия образования флишевой формации. «Геотектоника», 1972, № 1.
Грунтоведение, под ред. Е. М. Сергеева. Изд-во МГУ, 1971.
Губкин Н. В. Мерзлотно-гидрогеологические условия шахтного строительства в Охотско-Колымском крае Магадан «Колыма», 1964, № 8.
Далматов Б. И. Воздействие морозного пучения на фундаменты сооружений. Л., Госстройиздат, 1957.
Далматов Б. И. Основные особенности устройства фундаментов в районах глубокого промерзания грунтов. «Тр. IV совещания-семинара» по обмену опытом стр-ва в суровых климат условиях». Воркута, 1966.
Дальний Восток. М., «Наука», 1961.
Даммор А. Э. Нормативные значения модуля деформации четвертичных аллювиально-делювиальных суглинков юга Хабаровского края. «Мат-лы XXVI науч.-техн. конф. кафедр Хабар. ин-та инж. ж.-д. транспорта с участием представ. ж. д., пром. и строит. предпр. Дал. Вост.», вып. 2. Хабаровск, 1969.
Дегтяренко Ю. П. Развитие побережья Северной Чукотки в плейстоцене и голоцене. В кн.: «Геоморфология и литология береговой зоны морей и других крупных водоемов». М., «Наука», 1971.
Деменицкая Р. М., Гапоненко Г. И., Кнселев Ю. Г. и др. Особенности строения осадочного чехла в Северном Ледовитом океане. В сб.: «Геология и перспективы нефтегазоносности Советской Арктики». Л., 1972.
Дементьев А. И. Деформации зданий, вызываемые мерзлотными процессами и их ликвидация. М., Стройиздат, 1967.
Достовалов Б. Н. О физических условиях образования морозобойных трещин и развитие трещинных льдов в рыхлых породах. В сб.: «Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике», вып. 3 М., Изд-во АН СССР, 1952.
Достовалов Б. Н., Кудрявцев В. А. Общее мерзлотоведение. Изд-во МГУ, 1967
Драновский Я. А. Морфоструктурный анализ Нижне-Анадырской впадины. «Геоморфология», 1970, № 3.
Елисеев В. Г. Исследование физико-механических свойств трещиноватых вмещающих пород. Магадан, «Колыма», 1965, № 5.
Жигарев Л. А. Влияние склоновых процессов на строительное освоение территорий в области вечномерзлых грунтов. «Тр. VI совещания-семинара по обмену опытом стр-ва в суровых климат. условиях». Красноярск, 1970.
Жигарев Л. А. Причины и механизм развития солифлюкции. М., «Наука», 1967.
Жигарев Л. А., Плахт И. Р. Особенности строения, распространения и формирования субаквальной криогенной толщи. «Вестн. Моск. ун-та», 1973.
Жуков В. Ф. Современные задачи предпостроечного протаивания и упрочения вечномерзлых грунтов. «Тр. совещания-семинара по обмену опытом строительства на вечномерзлых грунтах». Норильск, 1962.
Занина А. А. Дальний Восток. Климат СССР, вып. 6. Л., Гидрометиздат, 1958.
Знангиров Р. С., Коробанова И. Т., Осипов Ю. Б. и др Природа прочности глинистых пород. В сб.: «Проблемы инж. геол.». Изд-во МГУ, 1970.
Зимовец В. А. Почвенно-геохимические процессы муссонно-мерзлотных ландшафтов М., «Наука», 1969.
Злобин Н. Г. Борьба с наледями. Магадан, «Колыма», 1970, № 3.
Избеков Э. Д Особенности древнего обломочного окатанного материала верховьев р. Индигирки. «Докл. на XVII научной сессии Якутского филиала отд. АН СССР». Якутск, 1968.
Ильинская Н. В. Гидрогеологическое районирование территории Дальнего Востока. «Тр. ВНИИ по гидрогеол. и инж. геол.», 1971, вып. 40.
Инженерно-геологические свойства пород и вопросы литогенеза. М., «Наука», 1965.
Казаков А. П., Линевич Г. В. Опыт борьбы с наледями на автомобильных дорогах Сибири и Северо-Востока СССР. «Тр. VI совещания-семинара по обмену опытом стр-ва в суровых климат. условиях», т. VII, вып. 1. Красноярск, 1970.
Калабин А. И. Из опыта строительства на Северо-Востоке «Тр. ВНИИ-I», вып. 10. Магадан, 1953.
Калабин А. И. Вечная мерзлота и гидрогеология Северо-Востока СССР. «Тр. ВНИИ-I», т. XVIII. Магадан, 1960.
Каплин П. А. Особенности динамики и строения берегов полярных морей (на примере побережья Чукотского моря). В кн.: «Особенности формирования рельефа и современных осадков прибрежной зоны дальневосточных морей СССР». М., «Наука», 1971.
Каплин П. А., Невесский Е. Н. и др. Особенности строения и история развития в голоцене верхней части шельфа и прибрежной зоны современных морей. «Океанология», 1968, № 1.

Каплина Т. Н. Особенности криогенного строения рыхлых пород, слагающих склоны сноса. «Мат-лы науч.-техн. конф. по инж. изысканиям». М., изд. ПНИИИСа, 1969.

Караванов К. П. Роль разрывных дислокаций в формировании подземных вод Дальнего Востока. «Мат-лы V совещ. по подземным водам Сибири и Дальнего Востока». Иркутск, 1967.

Караванов К. П. Гидрогеологические особенности Средне-Амурской впадины в связи с мелиорацией. «Мат-лы VI совещ. по подземным водам Сибири и Дальнего Востока». Иркутск—Хабаровск, 1970.

Карташов И. П. Генетические типы и фации рыхлых отложений, приуроченных к речным долинам Северо-Востока СССР. Магадан, 1958.

Карташов И. П. Количество и возраст оледенений Северо-Востока СССР. В кн. «Четвертичный период Сибири». М., «Наука», 1966.

Качурин С. П. Характеристика мерзлых горных пород южной части Советского Дальнего Востока. «Мат-лы II совещ. по подземным водам и инж. геол Вост. Сиб.», 1959, вып. 3.

Кирюхин В. А Артезианские бассейны Дальнего Востока. «Мат-лы III совещ. по подземным водам и инж. геол. Сибири и Дальнего Востока». Иркутск, 1961.

Кирюхин В. А. Особенности гидрогеологии складчатых областей юга Дальнего Востока. «Мат-лы IV совещ. по подземным водам Сибири и Дальнего Востока». Иркутск—Владивосток, 1964.

Кирюшина М. Т. Основные черты новейшей тектоники центрального сектора Советской Арктики. «Тр. НИИГА», 1963, т. 135.

Кладовщиков В Н. Гидрогеологическое районирование Приморья. «Мат-лы IV совещ по подземным водам Сибири и Дальнего Востока». Иркутск—Владивосток, 1964.

Кладовщиков В. Н. Закономерности формирования и оценка ресурсов подземных вод Приморского края. Владивосток, 1968.

Климатический справочник Советской Арктики. «Тр. АНИП», т. 23. Л., 1959.

Клюкин Н. К. Прикладной климатологический справочник Северо-Востока СССР. Магадан, 1960.

Коваленко Б. С., Колесниченко В. Ф. Роль инженерных мероприятий по регулированию паводочного стока рек бассейнов р. Суйфун и оз. Ханка. «Тр. координационного совещ. по гидротехнич. строительству», 1970, вып. 59.

Козырев В. Г. Вклад амурских строителей. Хабаровск, 1972.

Конаш В Е., Морозов Ю. А. Исследование причин деформации крупноблочного жилого дома в Магадане. «Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера», сб. 23. Красноярск, 1972.

Концебовская И. В., Мухина Л. И. Опыт оценки природных условий строительства на территории СССР. «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1972, № 2.

Коржуев С. С. О естественной эрозии в зоне многолетней мерзлоты. «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1969, № 3.

Коробанова И. Г. Формирование инженерно-геологических свойств терригенной формации. М., «Наука», 1970.

Коройша М. М. Современное оледенение хребта Сунтар-Хаята. «Результаты исследований по программе Международного геофизического года. Гляциология». М., Изд-во АН СССР, 1963, № 11.

Косов Б. Ф. Овражная эрозия в зоне тундры. «Научн. докл. высш. школы», 1959, № 1.

Костылев Е Н., Бурлин Ю. К. Геологическая история развития Анадырской впадины. ДАН СССР, сер. геол., т. 168, № 5, 1966.

Котлов Ф В. Инженерно-геологические процессы и явления, закономерности их формирования. В сб.: «Проблемы инж.-геол.». Изд-во МГУ, 1970.

Котляр В. Н Некоторые особенности развития «перелетков» на юге Амурской области. «Краткие тезисы докл. к III республиканскому совещ. по производству инженерно-геологических изысканий в районах распространения вечномерзлых грунтов». Чита, 1972.

Кочетков В М. Сейсмичность Якутии. Автореф. канд. дис. Иркутск, 1964.

Кудрявцев В. А., Гарагуля Л. С. и др. Мерзлотный прогноз и методы его составления «Тр. II международной конференции по мерзлотоведению», вып. 6. Якутск, 1973.

Кузнецов Г. И, Ушакова В К О влиянии сосредоточенной фильтрации и оттаивания льдонасыщенных грунтов оснований на устойчивость плотин. «Тр. IV совещания-семинара по обмену опытом стр-ва в суровых климат. условиях». Воркута, 1966.

Кузнецов И. К., Филиппов Г. С. Строительство промышленных сооружений в районах вечномерзлых грунтов. М., изд. литературы по строительству, 1972.
Лавины Сахалина и Курильских островов. Сб. ст. под ред. К. Ф. Войтковского Л., 1971.
Лаврушин Ю. А. Аллювий равнинных рек субарктического пояса и перигляциальных областей материковых оледенений. «Тр. ГИН АН СССР», вып. 87. М., 1963.
Ларионов А. К. Зависимость уплотнения глинистых грунтов от их структурных особенностей. В сб.: «Вопросы инженерной геологии». М., 1970.
Левченко А. В., Савельев В. С. Деформация дорожных насыпей в условиях Чукотки. Магадан, «Колыма», 1965, № 1.
Литвинов А. Я. Осадка при протаивании льдистых суглинков Яно-Индигирской Приморской низменности. «Мат-лы к основам учения о мерзлых зонах земной коры». М., 1960.
Лишневский Э. Н., Земляков И. Н. Глубинное строение Верхне-Зейского и Удского прогибов по геолого-геофизическим данным. Новосибирск, 1972.
Логинова И. Э. Микростроение новейших отложений Амуро-Зейской равнины и палеографические реконструкции. «Вести. Моск. ун-та», сер. геогр., 1970, № 6.
Ломтадзе В. Д. Современное состояние и задачи изучения формирования физико-механических свойств горных пород. В сб.: «Пробл. инж. геол.», 1970.
Луговой П. Н. Особенности геокриологических условий горных стран. М., «Наука», 1970.
Лубий К. И., Паперинов И. М. О влиянии термокарста и солифлюкции на производство горных работ. Магадан, «Колыма», 1967, № 1.
Малышев А. А., Давыдов В. А., Болконский А. А. Опыт работы автомобильных дорог в зоне вечной мерзлоты. «Тр. V совещания-семинара по обмену опытом стр-ва в суровых климат. условиях», т. VII, вып. 2. Красноярск, 1968.
Мезозойский тектогенез. Магадан, 1971.
Мельников П. И. Итоги геокриологических, гидрогеологических и инженерно-геокриологических исследований в Центральной и Южной Якутии. М., «Наука», 1963.
Мельницкий В. Е. Определение некоторых физических показателей морских осадков в экспедиционных условиях. «Геология моря», вып. 1. Л., 1971.
Мерзляков В. М. Стратиграфия и тектоника Омулевского поднятия. М., «Наука», 1971.
Мефодиев В. А., Шатилов В. Г. Из опыта борьбы с устьевыми наледями. Магадан, «Колыма», 1970, № 3.
Мещеряков Ю. А. Рельеф СССР. М., «Мысль», 1972.
Миронов Н. Г. Тепловое воздействие подземных и полуподземных отапливаемых сооружений с многолетнемерзлыми грунтами и инженерно-геологические условия размещения сооружений на примере Чукотского п-ова. Автореф. канд. дис. М., 1967.
Мискин Л. В. Ландшафтные комплексы Архаринской низменности, юго-западных отрогов Малого Хингана и перспективы их хозяйственного освоения. Автореф. канд. дис. Хабаровск, 1971.
Муратов М. В. Строение и развитие срединных массивов геосинклинальных складчатых областей. «Геотектоника», 1974, № 3.
Нагибина М. С. Стратиграфия и формация Монголо-Охотского пояса. М., 1969. (Ротапринт ГИН АН СССР).
Наймарк А. А. Неотектоника Крайнего Северо-Востока СССР. Автореф. канд. дис. М., 1969.
Неизвестнов Я. В., Семенов Ю. П. Подземные криопэги шельфа и островов Советской Арктики. «Тр. II Междунар. конф. по мерзлотовед.». Якутск, 1973
Некрасов И. А. Талики речных долин и закономерности их распространения (на примере бассейна р. Анадырь). М., «Наука», 1967.
Некрасов И. А. Закономерности развития криолитозоны северо-востока и юга Сибири. Якутск, 1974 (в печати).
Овсянников Н. В. Некоторые результаты изучения физико-механических свойств монолитных прокластических горных пород Дальнего Востока. В сб.: «Науч. тр. Дальневост. политехн. ин-та» (юбилейный выпуск). 1968, т. 70.
Овсянников Н. В., Капица А. А. Физико-механические свойства некоторых изверженных горных пород Сахалина. «Сов. геология», 1971, № 8.
Окунева Н. И. Железистые подземные воды Приамурья. «Мат-лы VI совещ. по подземным водам и инж. геол. Сибири и Дальнего Востока». Иркутск—Хабаровск, 1970.
Пармузин Ю. П. Дальний Восток и его физико-географическое районирование. В кн.. «Вопросы географии», сб. 55. М., 1961.

Пармузин Ю. П. Северо-Восток и Камчатка. М., «Мысль», 1967.
Пархитько А. А., Щегольков Ю. Г. Условия строительства автодороги на вечномерзлых грунтах. «Тр. ВНИИ-1», вып. 16. Магадан, 1959.
Перигляциальные процессы. «Тр. СВ КНИИ», вып. 38. Магадан, 1971.
Пискун В. М. Учет влияния верховодки при инженерно-геологической оценке строительных площадок Приморского края. Автореф. канд. дис. Владивосток, 1964.
Пономарев В. М. Четвертичные отложения и вечная мерзлота Чукотки. М., Изд-во АН СССР, 1953.
Пономарев В. М. Подземные воды территории с мощной зоной многолетнемерзлых пород. М., «Изв. АН СССР», 1960.
Пономарев В. М. Самоуплотнение грунта при предпостроечном оттаивании. «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1971, № 3.
Попов Л. И. Особенности литогенеза аллювиальных равнин в условиях сурового климата. М., «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1953, № 2.
Проблемы инженерной геологии. «Тр. межвед. совещ. по инж. геол., 3—8 июня 1968 г.». Изд-во МГУ, 1970.
Проблемы строительства и проектирования на Крайнем Севере. «Мат-лы I Магадан. обл. науч.-техн. конф. по стр-ву и архитектуре». Магадан, 1971.
Русаков И. М., Виноградов В. А., Гапоненко Г. И. Тектоническое районирование Северо-Востока СССР и его Арктического шельфа. В сб.: «Новые данные по металлогении и геологическому строению Яно-Колымского междуречья». Л., 1972.
Рынков В. С. Инженерно-геологические условия юга Приморского края. Автореф. канд. дис. М., 1972.
Савельев В. С. Деформации сооружений на склонах в районах вечной мерзлоты. «Тр. совещания-семинара по обмену опытом проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах», т. VI, вып. 2. Красноярск, 1966.
Сборник научных работ Дальневосточного ПромстройНИИпроекта, вып. 7. Владивосток, 1965.
Сватков Н. М. Остров Врангеля. В кн.: «Советская Арктика». М., «Наука», 1970.
Север Дальнего Востока. М., «Наука», 1970.
Северный Ледовитый океан и его побережье в кайнозое. Сб. статей, 1970.
Семенов Ю. П. О некоторых особенностях формирования донных отложений Восточно-Сибирского и Чукотского морей. «Тр. НИИГА», т. 143. Л., 1965.
Семенов Ю. П. Условия образования донных отложений моря Лаптевых. «Геология моря», вып. 1. Л., 1971.
Семенов Ю. П., Шкатов Е. П. Геоморфология дна моря Лаптевых. «Геология моря», вып. 1. Л., 1971.
Сергеев Е. М. Литология и инженерная геология. В кн.: «Состояние и задачи советской литологии». М., «Наука», 1970.
Сеславинский К. В. Строение и развитие Южно-Анюйского шовного прогиба (Западная Чукотка). «Геотектоника», 1970, № 5.
Сиско Р. К. Новосибирский архипелаг. В кн.: «Советская Арктика». М., «Наука», 1970.
Современные экзогенные процессы рельефообразования. «Мат-лы VII пленума геоморфол. комиссии АН СССР». М., «Наука», 1970.
Соколов А. А. Гидрография СССР. Л., Гидрометеоиздат, 1952.
Сперанский И. М. Игнимбриты в вулканогенных толщах северного побережья Охотского моря и вопросы их происхождения. «Тр. лабор. вулканол. АН СССР», 1961, вып. 20.
Страхов Н. М. Основы литологии, т. II. М., Изд-во АН СССР, 1962.
Страхов Н. М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М., 1963.
Тайбашев В. Н. Некоторые физико-механические свойства мерзлых щебнистых суглинков. «Тр. ВНИИ-1», т. XXII. Магадан, 1963.
Тектоника Евразии. М., «Наука», 1966.
Тильман С. М., Белый В. Ф., Николаевский А. А. и др. Тектоника Северо-Востока СССР. Магадан, 1969.
Тильман С. М. Сравнительная тектоника мезозоид севера Тихоокеанского кольца. Новосибирск, 1973.
Титов Э. Э. Строение и развитие склонов гор Северо-Востока СССР. Автореф. канд. дис. М., 1971.
Титов Э. Э. Скорости перемещения обломочного материала на склонах гор Северо-Востока СССР. «Вести. Моск. ун-та», 1970, № 4.
Ткаченко Б. В., Елизаров Б. Х., Атласов И. П. и др. Основные геологические структуры Арктики. В сб.: «Геология и перспективы нефтегазоносности Советской Арктики». Л., 1972.

Толстихин Н. И., Толстихин О. Н. Криогенез и водоносность гидрогеологических структур. В сб.: «Очерки по гидрогеологии Сибири». Новосибирск, «Наука», 1973.
Толстихин О. Н. Значение и учет наледных процессов в балансе вод зоны многолетнемерзлых пород. В кн.: «Наледи Сибири». М., «Наука», 1969.
Томирдиаро С. В., Орлова З. В. Природа и условия формирования плейстоценовых лессово-ледяных равнин на Северо-Востоке. «Колыма», 1970, № 5.
Томирдиаро С. В. Озерно-термокарстовые ландшафты и агромелиорация арктических равнин СССР. «Колыма», 1971, № 9.
Томирдиаро С. В. Вечная мерзлота и освоение горных стран и низменностей. Магадан, 1972.
Трофимов Г. Т. Строительство автомобильных дорог в условиях многолетней мерзлоты. М., Автотрансиздат, 1960.
Трофимук Г. И. Закономерности содержания железа в подземных водах Приморского края. «Мат-лы V совещ. по подземным водам Сибири и Дальнего Востока». Иркутск, 1967.
Тр. Хабаровского ин-та инж. ж.-д. транспорта, вып. 30. Хабаровск, 1969.
Трупак Н. Г. Строительство земляных плотин на вечномерзлых грунтах. «Гидротехническое строительство», 1970, № 9.
Труш Н. И., Нистратова Т. А. Инженерно-геологическая оценка горных пород северных склонов хребта Полоусного и Приполоусненской полигенетической равнины. В сб.: «Мерзлотные исследования», вып. XII. Изд-во МГУ, 1972.
Труш Н. И., Нистратова Т. А. Состав и свойства отложений ледового комплекса Яно-Индигирского междуречья В сб.: «Мерзлотные исследования». Изд-во МГУ, 1973.
Устиев Е. К. Охотский структурный пояс. В сб.: «Проблемы магмы и генезиса изверженных горных пород». М., Изд-во АН СССР, 1963.
Федорова Н. Я. Инженерно-геологические условия и особенности фундаментостроения в Сахалинской области. «Сб. научных работ (Дальневост. Промстройниипроект)», вып. 7. Владивосток, 1965.
Финько В. И. Минералогия и генезис огнеупорных глин Зея-Буреинской депрессии. В кн.: «Исслед. и использование глин». Изд-во Львовского ун-та, 1958.
Финько В. И. Геолого-петрографическая характеристика и генезис огнеупорных глин Зея-Буреинской депрессии. М., Изд-во АН СССР, 1960.
Хворостова З. М. Геоморфология бассейна верховьев р. Колымы. Новосибирск, «Наука», 1970.
Херасков Н. Н. Тектоника и формации. М., «Наука», 1967.
Хрусталев Л. Н. Температурный режим вечномерзлых грунтов на застроенной территории. М., «Наука», 1971.
Хмызников П. К. О размыве берегов в море Лаптевых Северный морской путь. «Сб. статей по гидрографии и мореплаванию», вып. 7. Л., 1937.
Цвид А. А. Комплексный учет климатических факторов в строительстве на Дальнем Востоке. «Тр. Глав. геоф. обсерватории им. Воейкова», вып. 149. Л., 1963.
Цвид А. А. Строительные климатические характеристики по Хабаровскому краю и Амурской области. «Промышленность Хабаровского края». Хабаровск, 1960.
Цеквава Л. К. Инженерно-геологические свойства озерных глин Приханкайской впадины в связи с условиями формирования и залегания. Автореф. канд. дис. М., 1973.
Цекомский А. М., Петрунькина Л. М. Кварцевые пески Зея-Буреинской депрессии. «Мат-лы по геологии месторождений неметаллических полезных ископаемых». «Тр. ВСЕГЕИ», вып. 57, 1961.
Черкасов И. И., Мнхеев В. В., Зобачев Н. М. и др. Влияние плотности укладки и объемного веса на механические свойства сыпучих грунтов. «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1969, вып. 6.
Чичкин В. И., Киселев Ю. И. Опыт строительства свайных фундаментов в условиях города Магадана. Магадан, 1969.
Швецов П. Ф. Подземные воды территории с мощной толщей многолетнемерзлых пород. М., Изд-во АН СССР, 1960.
Швецов П. Ф. Геокриологические условия Верхояно-Колымской горно-низменной страны. В кн.: «Многолетнемерзлые породы и сопутствующие им явления на территории Якутской АССР». М., Изд-во АН СССР, 1962.
Швецов П. Ф., Бобов Н. Г. Научно-методические основы прогноза инженерно-геокриологических явлений на осваиваемых участках. «Тр. II междунар. конф. по мерзлотоведению», вып. 6. Якутск, 1973.
Шабанова В. С. Влияние текстуры глин на их сопротивление сдвигу. В сб.: «Вопросы инженерной геологии». М., «Недра», 1970.

Шило Н. А., Шумилов Ю. В. О динамике и постседиментационном преобразовании аллювия в субполярных условиях. «Геология и геофизика». Новосибирск, СО АН СССР, 1969, № 6.
Шило Н. А., Томирдиаро С. В. Озерный термокарст и перигляциальный континентальный литогенез на равнинах Северо-Востока СССР. Магадан «Колыма», 1970, № 7.
Штейп М. А. К вопросу формирования подземных вод на о. Сахалине. «Мат-лы IV совещ. по подземным водам Сибири и Дальнего Востока», 1964.
Шумский П. А. К вопросу о происхождении жильного подземного льда. «Тр. Ин-та мерзлотоведения АН СССР», т. 16. М., 1960.
Юг Дальнего Востока, под ред. Худякова Г. И. М., «Наука», 1972.
Южная часть Дальнего Востока. М., «Наука», 1969.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение (*Т. В. Пугачева*) 5

Раздел I

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА 9

Глава 1. История геологического развития Дальнего Востока в дочетвертичное время и ее влияние на формирование инженерно-геологических условий (*Л. И. Красный, В. К. Елисеева*) 9

Глава 2. История геологического развития Дальнего Востока в плейстоцене и ее влияние на формирование инженерно-геологических условий (*Г. С. Ганешин, Л. К. Цеквава*) 23

Глава 3. История формирования инженерно-геологических условий в голоцене и их региональные закономерности 41
Ландшафтно-климатическая зональность (*А. В. Сабельников, Л. К. Цеквава, М. А. Солунина*) 41
История развития многолетнемерзлых пород и закономерности современных геокриологических условий (*Н. А. Граве, Н. С. Шевелева*) . 51
Общие закономерности распространения, режима и изменения химического состава подземных вод (*А. Ю. Мытарева, В. Е. Глотов*) . . 63
Подземные воды Северо-Востока 63
Подземные воды юга Дальнего Востока и Камчатки 71
Современные геологические процессы и явления (*Н. И. Украинская, Б. В. Старкович*) 78

Глава 4. Инженерно-геологическое районирование Дальнего Востока (*Д. Г. Зилинг, И. Ю. Шаровская*) 87

Раздел II

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА . . 92
РЕГИОНЫ СЕВЕРА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА 92
Омолонский регион (*Т. В. Раевская, Д. В. Ефимова*) 92
Верхоянский регион (*В. М. Синицкая, И. А. Черняк, Л. П. Глотова, Е. К. Крылова*) 100
Яно-Колымский регион (*Я. В. Неизвестнов, И. С. Постнов*) . . 119
Приколымский регион (*Т. В. Раевская, В. Е. Афанасенко, Н. Н. Романовский, М. М. Корейша, Л. П. Глотова, Е. К. Крылова*) . . 126
Момский и Олойский регионы (*Т. В. Раевская, В. Е. Афанасенко, Л. П. Глотова, Д. В. Ефимова, Е. К. Крылова*) 134
Восточно-Чукотский регион (*Т. В. Раевская, А. В. Сабельников*) . 146
Анюйско-Чукотский регион (*В. М. Синицкая, А. В. Сабельников, Д. В. Ефимова*). 157
Чукотский и Охотский регионы (*Л. П. Ботылева, Д. В. Ефимова, Н. И. Украинская*) 178
Пенжинско-Анадырский и Тауйско-Тайгоносский регионы (*А. В. Сабельников, М. Я. Белякова, В. Е. Глотов, Н. С. Шевелева*) . . 199

Корякский регион (*М. Я. Белякова*) 217
Анадырский регион (*А. В Сабельников, Л. И. Глотова, Н. С. Шевелева*) 228
Арктические острова (*Я. В. Неизвестнов, И С. Постнов*) . . 239
Регионы юга Дальнего Востока 251
Хингано-Буреинский регион (*И Ю. Шаровская, А. Ю. Мытарева*) . 251
Тукурингра-Баджальский регион (*В. А Шуршалина, И. Ю. Шаровская, А. Ю. Мытарева*) 261
Удской регион (*В. А. Шуршалина, А. Ю. Мытареви*) 276
Буреинский регион (*В. А. Шуршалина ,А. Ю. Мытарева*) . . . 284
Амуро-Зейский регион. (*Л. К. Цеквава, А. Ю. Мытарева*) . . . 293
Верхне-Зейский регион (*Л. К. Цеквава, А. Ю. Мытарева*) . . 305
Арсеньевский регион (*В. С. Рынков, Л. П. Ботылева*) 311
Сихотэ-Алинский регион (*В. С. Рынков, Л. П. Ботылева*) . . 323
Нижне-Амурский регион (*В. А. Шуршалина, А. Ю. Мытарева, Н. И. Украинская*) 334
Средне-Амурский регион (*Л. К. Цеквава, А. Ю. Мытарева*) . . 349
Прихаикайский регион (*Л. К. Цекваеа, А. Ю. Мытарева*) . . . 366
Восточно-Сихотэ-Алинский регион (*Л. П. Ботылева, А. Ю. Мытарева*) 378
Регионы островов и полуостровов Тихоокеанского сектора . . . 392
Сахалинский регион (*И. Ю. Шаровская, А. Ю. Мытарева*) 392
Курило-Камчатско-Олюторский регион (*М. Б. Голубовский, Э. В. Горбылева, Е. В. Тараканова, М. Н. Мокроусова*) 413
Инженерно-геологическая характеристика шельфов дальневосточных и северных морей 447
Шельф Японского моря (*И. С. Комаров*) 447
Шельфы моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей (*Я. В. Неизвестнов*) 452
Шельфы Охотского и Берингова морей (*И. С. Комаров*) . . . 457

Раздел III

ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА И ИЗМЕНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА (*Т. В. Пугачева, В. П. Давиденко, В. С. Рынков, И. Г. Шахгальдян, Е. В. Таранов*) 459
Промышленное и гражданское строительство 459
Линейное строительство 468
Гидротехническое строительство 478
Строительство горнодобывающих предприятий 482
Прогноз изменения природных условий под влиянием деятельности человека 482
Список литературы 491

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ СССР

ТОМ ЧЕТВЕРТЫЙ

ДАЛЬНИЙ ВОСТОК

Подписное издание

Редактор *Г. С. Савельева*
Переплет художника
Е. А. Михельсона
Технический редактор
З. С. Кондрашова
Корректоры *В. П. Кададинская,*
Л. А. Костылева

Сдано в набор 20/IV 1976 г.
Подписано к печати 30/XII 1976 г.
Л-54916 Формат 70×108 1/16
Бумага тип. № 1 Физ. печ. л.
31,5+3 вкл (0,75) Усл печ. л. 41,59
Уч.-изд. л. 43,21 Изд. № 2867
Зак. 467 Тираж 7247 экз
Цена 3 р. 07 к.

Издательство
Московского университета.
Москва, К-9, ул. Герцена, 5/7.
Типография Изд-ва МГУ.
Москва, Ленинские горы

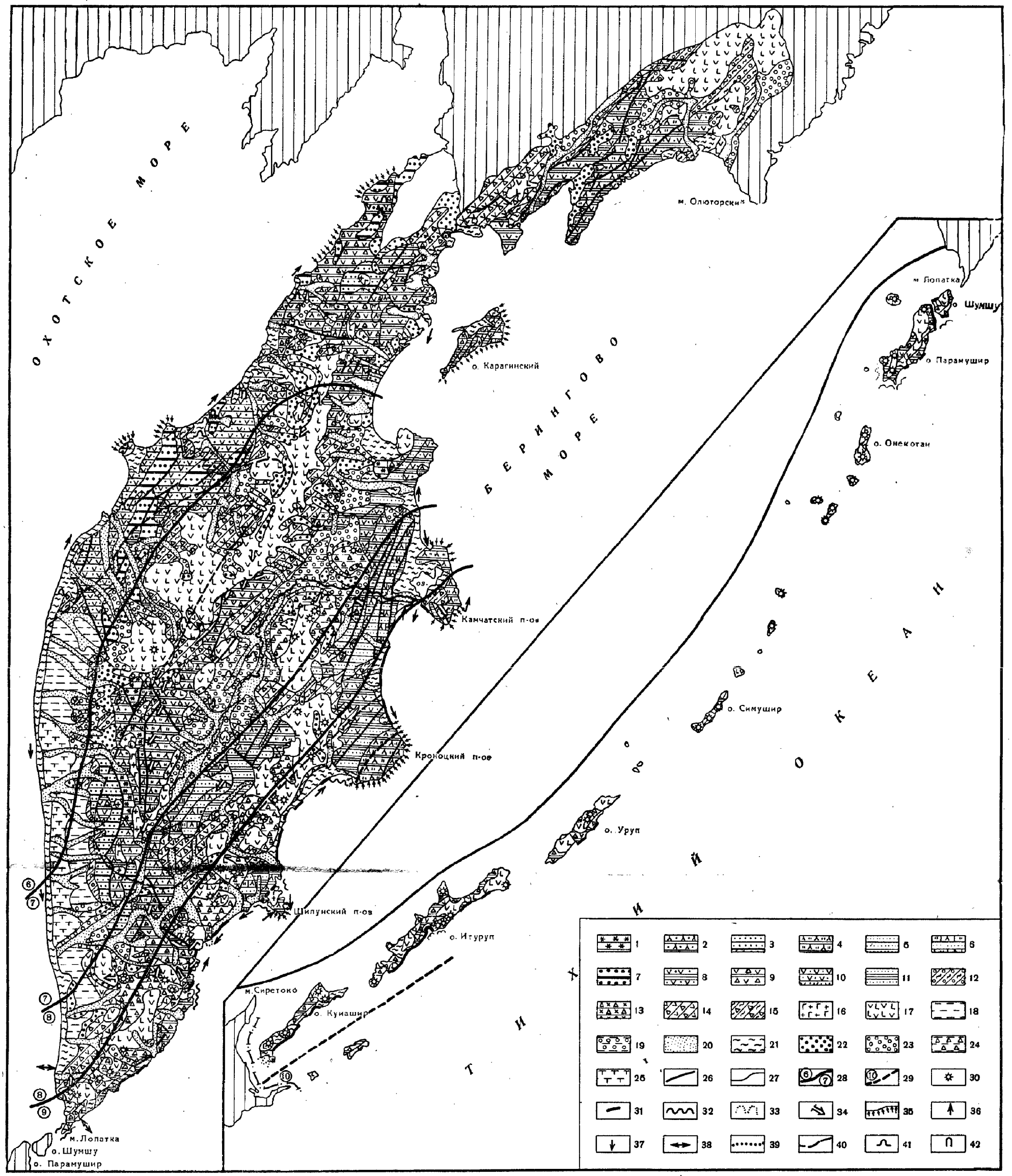


Рис. 58. Схематическая инженерно-геологическая карта Курило-Камчатско-Олюторского региона.

Формации: 1 — метаморфические (AR—PR); 2 — вулканогенно-кремнисто-терригенная (PZ); 3 — песчано-глинистая сероцветная (K); 4 — вулканогенно-кремнистая (K_2—P); 5 — песчано-глинистая сероцветная (K_2—P); 6 — карбонатно-кремнисто-вулканогенно-терригенная (K_2—P_{2-3}); 7 — угленосная (P); 8 — флишоидная (P_3—N_1^1); 9 — туффито-андезитовая (P_3—N_1^{1-2}); 10 — туфогенно-терригенная (N_1); 11 — флишоидная (N_1^{1-2}); 12 — терригенная молассовая (N_1); 13 — туффито-диатомитовая (N_1^3—N_2); 14 — базальт-липаритовая (N_1^2—N_2); 15 — молассовая (N_2); 16 — интрузивные (P_2—N); 17 — базальтовая (Q). Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений: 18 — нижне-среднеплейстоценовые озерные и озерно-аллювиальные (l, laQ$_{I-II}$); 19 — плейстоценовые озерные, аллювиальные, ледниковые и водно-ледниковые (l, a, g, fQ$_{I-III}$); плейстоценовые и голоценовые: 20 — аллювиальные отложения и отложения сложного генезиса (аллювиально-пролювиальные, водно-ледниковые и др.) (a, la, ap, fQ$_{I-IV}$); 21 — морские, лагуино-морские и дельтовые (m, lm, dQ$_{I-IV}$); средне-верхнеплейстоценовые; 22 — ледниковые (gQ$_{II-III}$); 23 — водно-ледниковые (fQ$_{II-III}$); 24 — средне-верхнеплейстоценовые и голоценовые пирокластические (tQ$_{II-IV}$); 25 — голоценовые болотные (bQ$_{IV}$); 26 — разломы; 27 — границы формаций; 28 — границы сейсмических зон; 29 — предположительная граница сейсмической 10-балльной системы; 30 — вулканы действующие; 31 — зоны большого затопления цунами; 32 — районы увеличения волны цунами; 33—района уменьшения волны цунами; 34—снежные лавины; 35—абразия; 36— относительное поднятие берегов; 37 — относительное опускание берегов; 38 —

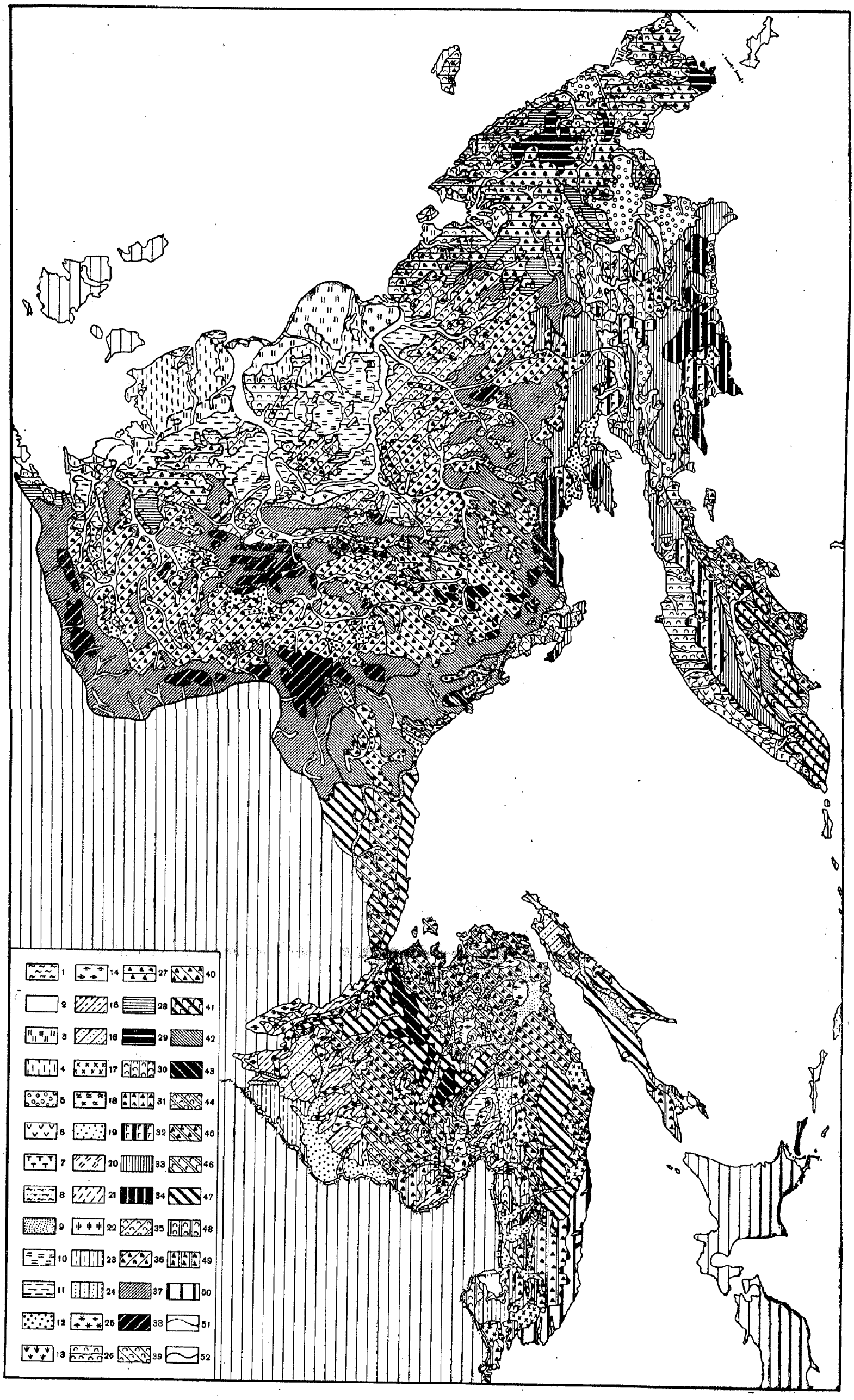


Рис. 6. Ландшафтная схема Дальнего Востока (составили А. В. Сабельников, Л. К. Цеквава, И. С. Гудилин): Равнинные ландшафты с проявлением широтной зональности. Тундровые и лесотундровые аккумулятивные равнины: 1 — морские, реже аллювиальные и ледниково-морские; 2 — аллювиальные и аллювиально-пролювиальные; 3 — озерно-аллювиальные, преимущественно низкие с полигональными льдами и болотами; 4 — озерно-аллювиальные, преимущественно возвышенные; 5 — ледниковые и водно-ледниковые; 6 — делювиально-пролювиальные и пролювиальные; 7 — болотные. Таежные аккумулятивные равнины: 8 — морские; 9 — аллювиальные и аллювиально-пролювиальные; 10—11 — соответственно: озерно-аллювиальные, низкие и возвышенные; 12 — ледниковые и водно-ледниковые; 13 — делювиально-пролювиальные и пролювиальные; 14 — болотные. Таежные аккумулятивно-денудационные равнины: 15 — озерно-аллювиальные; 16 — полигенетические. Таежные плато: 17 — вулканические. Лесные (смешанные и широколиственные леса) аккумулятивные равнины: 18 — морские; 19 — аллювиальные и аллювиально-пролювиальные; 20—21 — соответственно: озерно-аллювиальные, низкие и возвышенные; 22 — болотные. Лесные аккумулятивно-денудационные равнины: 23 — озерно-аллювиальные; 24 — полигенетические. Лесные плато: 25 — вулканические. Горные ландшафты с проявлением вертикальной поясности. Горы с тундровыми спектрами растительности: осоко-лишайниковые тундры — гольцы: 26 — денудационно-эрозионные холмистые и платообразные предгорья, с участками плато и денудационных равнин; 27 — денудационно-эрозионные низкие и средние горы; 28 — эрозионные, реже структурно-эрозионные, низкие и средние, реже высокие горы; 29 — экзарационные альпинотипные, реже денудационно-экзарационные, низкие и средние, реже высокие горы; осоко-лишайниковые тундры — кедровый стланик—гольцы: 30 — денудационно-эрозионные холмистые предгорья, с участками плато и денудационных равнин; 31 — денудационно-эрозионные низкие и средние горы; 32 — вулканические низкие и средние, реже высокие горы; 33 — эрозионные, реже структурно-эрозионные, преимущественно низкие и средние, реже высокие горы; 34 — экзарационные, альпинотипные, реже денудационно-экзарационные, низкие и средние, редко высокие горы. Горы с тундрово-таежными спектрами растительности: лиственичные редколесья — гольцы: 35 — денудационно-эрозионные холмистые и платообразные предгорья, с участками плато и денудационных равнин; 36 — денудационно-эрозионные низкие и средние горы; 37 — эрозионные, реже структурно-эрозионные, низкие и средние, реже высокие горы; 38 — экзарационные альпинотипные, реже денудационно-экзарационные, низкие и средние, реже высокие горы; лиственничные редколесья — кедровый стланик — гольцы: 39 — денудационно-эрозионные холмистые и платообразные предгорья, с участками плато и денудационных равнин; 40 — денудационно-эрозионные низкие и средние горы; 41 — вулканические низкие и средние, реже высокие горы; 42 — эрозионные, реже структурно-эрозионные, низкие и средние, редко высокие горы; 43 — экзарационные альпинотипные, реже денудационно-экзарационные, низкие и средние, редко высокие горы. Горы таежные: 44 — денудационно-эрозионные холмистые и платообразные предгорья с участками плато и денудационных равнин; 45 — денудационно-эрозионные низкие и средние горы; 46 — вулканические низкие и средние горы; 47 — эрозионные, реже структурно-эрозионные, низкие и средние, редко высокие горы. Горы лесные (смешанные и широколиственные леса): 48 — денудационно-эрозионные холмистые и платообразные предгорья, с участками плато и денудационных равнин; 49 — денудационно-эрозионные низкие и средние горы; 50 — эрозионные, реже структурно-эрозионные, низкие и средние горы; 51 — границы ландшафтов; 52 — границы зон на равнинах и растительных спектров в горах

Вклейка. Зак. 467, стр. 44—45

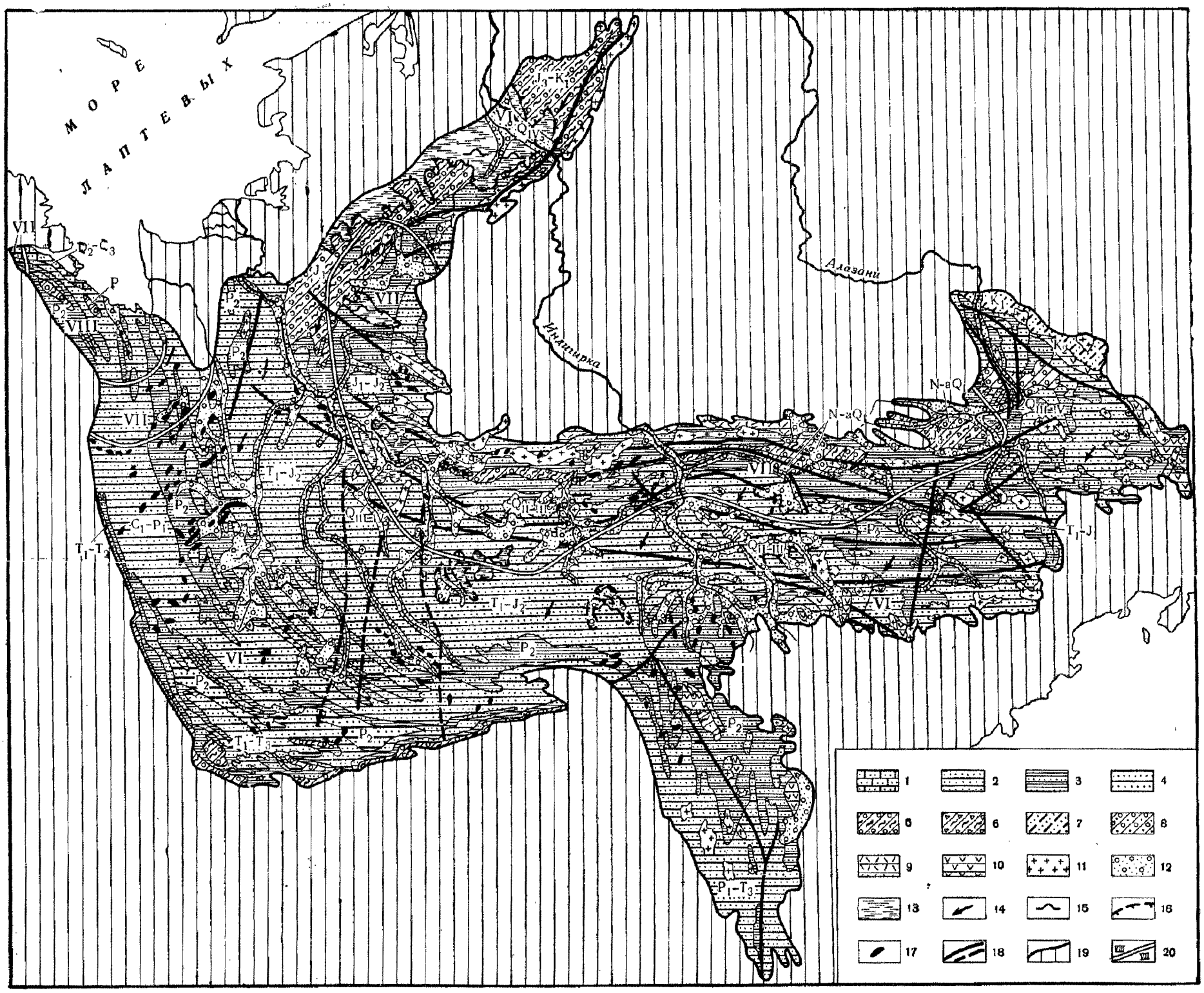


Рис. 12. Схематическая инженерно-геологическая карта Верхоянского региона.

Формации: 1 — терригенно-карбонатная (D_2—C_3); 2 — песчано-глинистая сероцветная (C_1—P_1, P_1—T_3, T_1—T_3, T_1—J_2); 3—флишоидная (P_2, J_1—J_2, J_2); 4 — угленосная (P_2); 5 — терригенная молассовая (T_1—T_2, J_3, J_3—K_1); 6 — вулканогенно-терригениая молассовая (J_3); 7 — угленосная моласса (K_1, K_2); 8 — терригенная молассовая кайнозойского возраста (P, N—aQ_I); 9 — дацито-липаритовая (J_3—K_2); 10 — андезитовая (J_3—K_2); 11 — гранитоидная (J_3—K_2). Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений: **среднеплейстоценовые-голоценовые: 12 — ледниковые; водно-ледниковые** и аллювнальные ($g+f+aQ_{II-IV}$); 13 — озерно-аллювиальные (laQ_{II-IV}). Физико-геологические явления. Участки развития: 14 — солнфлюкции; 15 — бугров пучения; 16 — термокарста; 17 — наледей; 18 — разрывные тектонические нарушения; 19 — граница региона и сопредельные территорин; 20 — изосейсы и балльность сейсмическая

Вклейка. Зак. 467, стр. 100—101