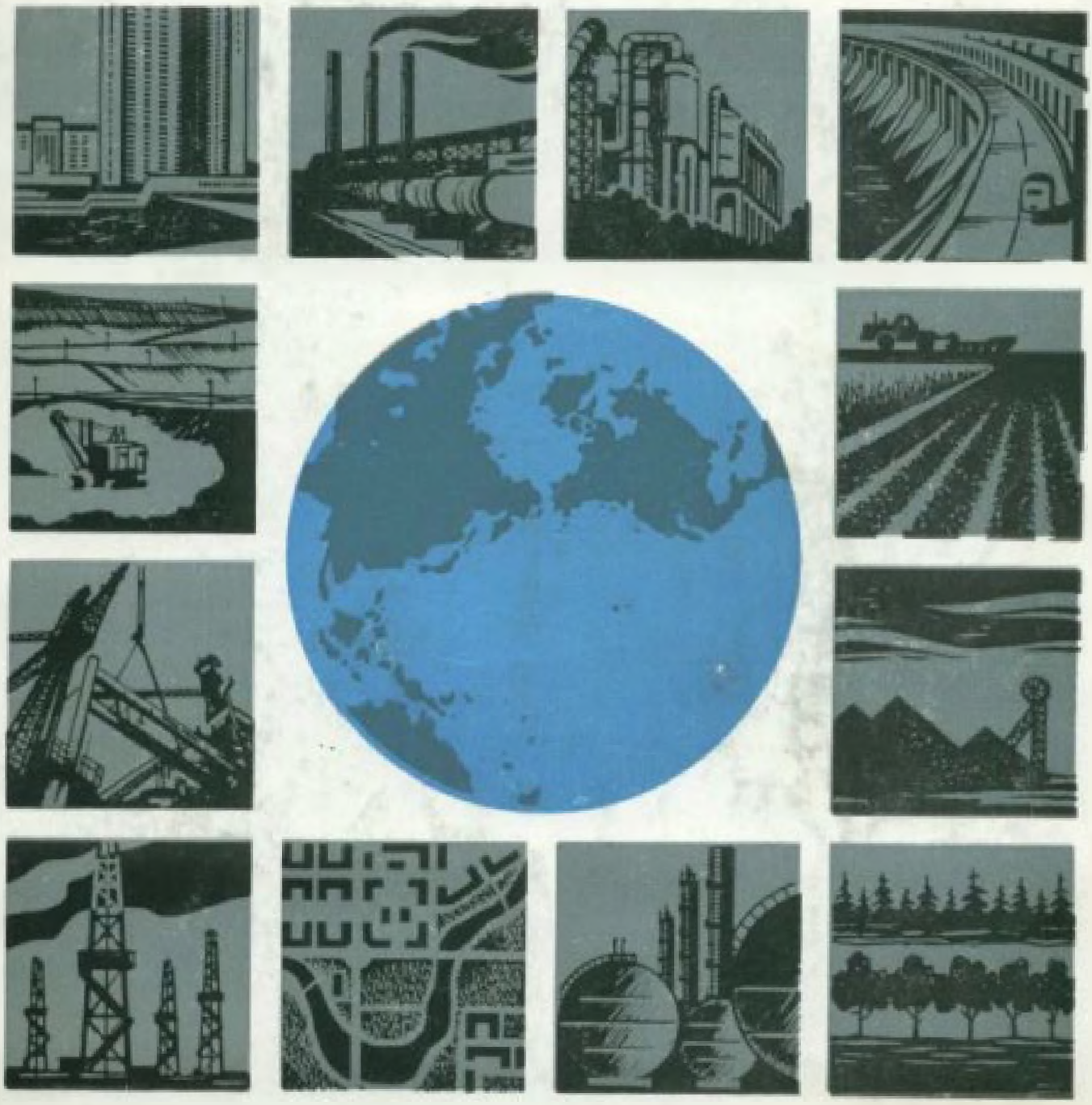
Ф. В. КОТЛОВ

ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА



Ф. В. КОТЛОВ

ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

МОСКВА · «НЕДРА» · 1978

УДК 624.131.1

Котлов Ф. В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М., «Недра», 1978, с. 263.

В книге рассмотрено влияние научно-технической революции и различных видов инженерно-хозяйственной деятельности человека на изменение основных компонентов природной и главным образом геологической среды.

Показано, в какой мере подтвердились научные прогнозы академиков В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана о бурном развитии техногенеза и ноосферы (сферы разума) в современной геологической истории Земли.

С привлечением большого фактического материала рассмотрена геологическая деятельность человека и дана характеристика антропогенных изменений атмосферы, гидросферы, биосферы и литосферы. Большое внимание уделено современным геологическим процессам.

Автором развиваются идеи академиков А. П. Виноградова и А. В. Сидоренко о земной коре как среде обитания и жизнедеятельности человека. Освещение проблемы взаимодействия человека и земной коры дается преимущественно в инженерно-геологическом аспекте, что повышает практическое значение монографии.

Книга предназначена для геологов различного профиля, географов, экономистов, проектировщиков, строителей и краеведов.

Табл. 20, ил. 56, список лит. 187 назв.

К $\frac{20806-360}{043\,(01)-78}$ 72—78

© Издательство «Недра», 1978

Введение

«Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни...»

В. И. ВЕРНАДСКИЙ

Трудовая деятельность человека изменяет природную геологическую среду. На протяжении нескольких миллионов лет наша планета Земля служит средой его обитания.

История трудовой деятельности человека оставила в природе свои следы. С развитием человеческого общества от первобытного к современному усиливалось воздействие человека на природу. Количественный и качественный скачок в искусственных воздействиях на окружающую среду и в ее изменениях характерен для XX столетия и особенно для второй его половины.

Научно-техническая революция, применение мощной новой техники, бурное развитие индустриализации, урбанизации, рост народонаселения и другие факторы развития общества в грандиозных масштабах расширили сферу влияния человека, изменили природную среду. В естествознании возникло новое научное направление, связанное с геологической деятельностью человека. Человек стал рассматриваться как геологический фактор.

В книге освещены основные грани геологической деятельности человека, показано, как и в каком направлении она изменяет геологическую среду. Но не только в этом состоит задача; важно привлечь внимание к вопросам бережного отношения к природе, ее ресурсам, охране и улучшению окружающей среды.

Проблема охраны и улучшения природной среды, в том числе и геологической, является важнейшей проблемой века, так как она жизненно связана с настоящим и будущим человека. Эта проблема находится в центре внимания всего мира.

В последние десятилетия увеличилось число тревожных фактов, свидетельствующих о деградации и загрязнении природной среды, причем в основном в развитых капиталистических странах, особенно в США, Японии, ФРГ, где эти процессы приобрели крайне опасные по своим последствиям масштабы.

К показателям обеднения и деградации природной среды относятся: угрожающее загрязнение воздуха, поверхностных и подземных вод, почв, растительного покрова, вырубка лесов, исчезновение многих ценных видов фауны и флоры, развитие отрицательных геологических процессов (эрозии, селей, абразии, оползнеобразования, опустынивания, карста, дефляции, заболачивания, подтопления застроенных территорий и др.), накопление отходов быта и производства, нарушение ландшафта, истощение некоторых минеральных, энергетических, биологических и других природных ресурсов, ухудшение санитарно-гигиенических условий, генофонда, здоровья людей, развитие новых болезней и т. п. Все это пагубно отразится на судьбе будущих поколений. Мир встревожен создавшимся положением, и это послужило толчком к выходу в свет огромного

потока информации, научных исследований, монографий как с пессимистическими, так и с оптимистическими прогнозами на будущее.

Проблема окружающей среды является не только технической, как ее трактуют некоторые буржуазные ученые. Это социально-экономическая и техническая проблема, решаемая различно в условиях капиталистического и социалистического общества. В капиталистических условиях решение проблемы затруднено из-за господства частной собственности на землю и природные ресурсы, культа бизнеса, системы хищнической эксплуатации природных богатств. Так, в США земли частного владения составляют 70% всей территории страны, в Европе 54% площади лесов находится в руках частных собственников.

В социалистических условиях решение этой проблемы обеспечивается государственной и общественной собственностью, плановым ведением хозяйства, сосредоточением мощных финансовых и технических средств в руках государства. В соответствии с программой КПСС, историческими решениями ЦК КПСС и правительства СССР охрана природы и улучшение использования природных ресурсов в нашей стране получили широкий размах и стали делом всего народа, задачей первостепенного государственного значения. Введенные в жизнь законодательства о землепользовании, водопользовании, об охране недр и другие законодательные акты уже принесли положительные результаты в деле улучшения окружающей среды, хотя впереди еще предстоит огромная работа.

Проблема окружающей среды, ее значение и актуальность получили международное признание в историческом Заключительном акте Совещания по безопасности и сотрудничеству в Европе, состоявшегося 30/VII—2/VIII 1975 г. в г. Хельсинки.

В специальном разделе этого акта «Окружающая среда» отмечено, что защита и улучшение окружающей среды, а также охрана природы и рациональное использование ее ресурсов в интересах нынешнего и будущих поколений является одной из задач, имеющих большое значение для благосостояния народов и экономического развития всех стран, и что многие проблемы окружающей среды, в частности в Европе, могут быть эффективно решены только путем тесного международного сотрудничества.

Основы учения о геологической деятельности человека, о ноосфере заложены в классических трудах академиков В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана. Дальнейшее развитие это учение получило в работах академиков А. П. Виноградова и А. В. Сидоренко, которые углубили и расширили его в свете новых фактов, характеризующих взаимодействие человека и земной коры.

Данной проблемой автор занимается с 1937 г. и в настоящей книге подводит итоги личных исследований, а также широко использует отечественные и зарубежные работы в этой области.

В понятие «геологическая среда» автор включает те компоненты, которые формируют геологические условия обитания и жизнедеятельности человека. Геологическая среда - это земная кора (верхняя часть литосферы), доступная для деятельности человека, и прежде всего рельеф, породы, подземные воды и современные геодинамические процессы и явления. Однако понимание изменения

геологической среды было бы односторонним без рассмотрения и других компонентов природной среды, взаимосвязанных с породами, подземными водами и геологическими процессами, таких как атмосфера, климат, поверхностная гидросфера, растительный и почвенный покровы.

Автор разделяет взгляды В. И. Вернадского о единстве природы, о взаимосвязи и взаимообусловленности атмосферы, биосферы, гидросферы и литосферы. Раскрытие этих взаимосвязей представляет сложную в теоретическом и методическом отношениях научную задачу.

В книге дана характеристика изменений атмосферы, растительного и почвенного покрова, поверхностной гидросферы, рельефа, климата, подземной гидросферы и современных геологических процессов.

Современные геологические процессы по степени влияния на них деятельности человека автор разделяет на три категории: 1) природные, 2) природно-антропогенные и 3) антропогенные.

В работе показано, в какой мере и в каком направлении хозяйственная деятельность человека повлияла на современные природные геологические процессы и явления (эрозия, абразия, оползни, выветривание. осыпи, обвалы, сели. карст. заболачивание, дефляция). Дана характеристика и выделено семь классов антропогенных геологических процессов и явлений: 1) геолого-геотермические, 2) гидрогенные наземные, 3) гидролитогенные, 4) гравитационные, 5) литогеодинамические, 6) субтерральные и 7) антропогенный литогенез.

Рассмотрены некоторые вопросы общего характера. К ним относятся проблемы взаимодействия человека и геологической среды, основные закономерности и перспективный прогноз антропогенных изменений геологической среды, проблема охраны природы, рекультивации и инженерной мелиорации геологической среды.

В заключение даны основные выводы и определены задачи дальнейших исследований. Вопросы изменения недр Земли как источника минеральных ресурсов в данной работе не рассматриваются.

Взаимодействие человека и геологической среды (некоторые общие положения и теоретические аспекты)

«Господство над природой, проявляющее себя в практике человечества, есть результат объективно-верного отражения в голове человека явлений и процессов природы...»

В. И. ЛЕНИН

«Коммунизм ... есть подлинное разрешение противоречия между человеком и природой...»

МАРКС

Проблема изменения геологической среды под влиянием деятельности человека является частью более крупной проблемы взаимодействия человека и природы. Человек часть природы.

Существуют общность и различие между обществом и природой. Марксизм рассматривает природу и общество как две части единого целого — материи, как единство стихийного и сознательного.

История изучения взаимодействия общества и природы уходит в далекое прошлое. Эта проблема волновала человеческие умы в эпоху античной натурфилософии, эпоху Возрождения и на протяжении последующих веков.

Различно понималась роль человека во взаимодействии с природной средой, высказывались материалистические и идеалистические, метафизические и диалектические взгляды. Переоценивалась и недооценивалась роль человека, которого называли и «царем», и «рабом» природы.

В научных трудах классиков естествознания XVIII и XIX вв. (Ж. Бюффона, Ж. Ламарка, Ч. Лайеля, Ч. Дарвина, Г. Марша и др.) подчеркивалась созидательная и разрушительная роль человека в изменении природы. К. Маркс и Ф. Энгельс явились основоположниками научного материалистического и диалектического понимания взаимоотношения человеческого общества с природой. Они отмечали взаимосвязь, взаимообусловленность и единство общества с природой и наряду с этим всегда подчеркивали глубокое качественное их различие.

Соотношение сознательного и стихийного во взаимоотношениях человека с природой исключительно точно сформулировано К. Марксом: «... культура, — если она развивается стихийно а не *направляется сознательно*, — оставляет после себя пустыню...» *.

На разрушительную геологическую деятельность человека как на результат стихийного взаимоотношения его с природой обращал внимание Ф. Энгельс. Он писал в «Диалектике природы»: «От «природы» Германии, какой она была в эпоху переселения в нее германцев, осталось чертовски мало. Поверхность земли, климат, растительность, животный мир, даже сами люди беско-

* К. Маркс, Ф. Энгельс. Соч. Изд. 2-е, т. 32, с. 45.

нечно изменились, и все это благодаря человеческой деятельности...» *.

Вопросам взаимодействия человека с природной средой в середине XIX в. и в начале XX в. в России были посвящены труды классиков отечественного естествознания В. В. Докучаева, А. И. Воейкова, Д. Н. Анучина, К. Д. Глинки, А. П. Карпинского, И. В. Мушкетова, А. П. Павлова, В. А. Обручева и др.

Значительный вклад в науку в области геологической деятельности человека внесли работы Е. Фишера (1915 г.) и Р. С. Шерлока (1922 г.).

Выдающаяся роль в создании учения о геологической деятельности человека, техносфере и ноосфере принадлежит советским ученым В. И. Вернадскому и А. Е. Ферсману.

А. Е. Ферсман, крупнейший геохимик и минералог, ученик и сподвижник В. И. Вернадского, в классических трудах в области геохимии и геологии исследовал роль человека в изменении круговорота материи и энергии, миграции химических элементов в земной коре. Еще в 1934 г. он пришел к выводу, что «по своему масштабу человек приравнивается к самым могучим деятелям природы», «...человек — серьезный фактор геологических процессов» [156]. А. Е. Ферсман ввел понятия «техносфера», «техногенез», выделив категорию «техногенных» геологических процессов и явлений. Он неоднократно подчеркивал, что хозяйственная и промышленная деятельность человека по масштабу и значению сравнима с процессами самой природы.

Основоположником учения о ноосфере (сфере разума) является В. И. Вернадский. Изучая историю геологического развития Земли, эволюцию оболочек планеты, особенно биосферы, он пришел к выводу, что наша планета переходит в новую стадию развития — ноосферу. В. И. Вернадский впервые установил: «Ноосфера — есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни, перестраивать коренным образом по сравнению с тем, что было раньше». «... В ноосфере должна геологически проявляться его мысль, его сознание, его разум» [16].

На современном этапе ведущая роль в развитии учения В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана о геологической деятельности человека принадлежит А. П. Виноградову и А. В. Сидоренко.

А. П. Виноградов, выдающийся советский геохимик, в трудах, посвященных биосфере, развивал учение В. И. Вернадского о ноосфере. В одной из последних своих работ [18] он глубоко осветил современное состояние проблемы взаимоотношения человека с природной средой и наметил пути дальнейшего улучшения охраны природы.

Большая заслуга в развитии и углублении идей В. И. Вернадского о ноосфере и геологической деятельности человека принадлежит А. В. Сидоренко. По данной проблеме А. В. Сидоренко в 1965—1974 гг. публикует серию научных работ [143—147].

В аспекте новейших достижений геологической мысли, фактов, характеризующих изменения земной коры под влиянием деятельности человека, А. В. Сидоренко осветил проблему «ноосферы», антропогенной эволюции земной коры, формирования геологических процессов и явлений, вызванных деятельностью человека,

---

* К. Маркс, Ф. Энгельс. Соч. Изд. 2-е, т. 20, с. 546 .

и сформулировал задачи, стоящие в этом направлении перед наукой и геологоразведочной службой.

Вернемся к вопросу о современном понимании проблемы «природа и человек». Существуют два основных направления в социологических концепциях взаимодействия общества и природы — марксистское и буржуазное. Буржуазные социологи и футурологи предсказывают кризис во взаимоотношениях общества и природы и даже индустриальную интоксикацию (самоотравление) человечества, гибель цивилизации.

В работах Джея Форрестера [172] и Денниса Медоуза [183] и других рисуется мрачная картина перспектив развития человеческого общества. Они прогнозируют перенаселение планеты, полное истощение природных ресурсов, экологическую катастрофу, массовый голод, обнищание, эпидемии, самоотравление, экономический застой.

Буржуазные футурологи предлагают принять суровые меры к прекращению роста народонаселения, ограничению экономического развития, потребностей человека и т. п. С подобным социальным пессимизмом связаны призывы «назад к первобытному прошлому», «долой индустриализацию», «долой цивилизацию», «остановить урбанизацию», «затормозить развитие слабо развитых стран» и т. п. Научно-техническую революцию они сопоставляют с бомбой замедленного действия, которая вскоре взорвется и погубит человечество, если не остановить процесс разрушения и деградации природной среды. Такие реакционные и лженаучные концепции чужды марксистскому пониманию взаимодействия общества и природы.

Марксисты-социологи более оптимистично рассматривают этот вопрос, полагая, что при социалистическом характере производства и общественных отношений можно предотвратить кризисы, избежать истощения природных ресурсов, загрязнения природной среды и обеспечить научно обоснованное, рациональное природопользование, увеличение и создание новых природных ресурсов, эффективную охрану природы и улучшение геологической среды. В условиях социализма охрана природы — управляемый процесс. «Прогресс науки и техники, — отмечено в Программе КПСС *, — в условиях социалистической системы хозяйства позволяет наиболее эффективно использовать богатства и силы природы в интересах народа...».

По данным А. М. Рябчикова, на долю развитых капиталистических стран, производящих 53% мировой промышленной продукции, приходится 63% мирового загрязнения среды, имеющего часто глобальный характер, поскольку касается атмосферы, Мирового океана и др., тогда как на долю стран — участников СЭВ, производящих 33% мировой продукции, — только 15%.

Законы общественного развития определяют характер воздействия общества на природу; степень и направленность такого воздействия различны при разных способах производства.

Строительство коммунистического общества предусматривает сознательное и направленное преобразование природной среды. Как утверждал К. Маркс, коммунизм есть подлинное разрешение противоречий между человеком и природой.

Геологическая среда — это реальная физическая обстановка, в ко-

---

* Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976, с. 415.

горой человек живет и трудится. Взаимосвязь человека с земной корой проявляется не только при использовании полезных ископаемых, она многообразнее и шире. На геологическую жизнь Земли оказывают большое влияние различные виды инженерно-строительной и хозяйственной деятельности человека.

Геологическую среду и ее состояние нельзя рассматривать лишь как природную категорию. Изучение ее должно проводиться с позиций не только естествознания, но и социологии. Для капиталистических условий весьма характерна хищническая эксплуатация минеральных и других природных ресурсов, загрязнение геологической среды токсическими и нередко смертоносными компонентами. Назабываемы трагедии Хиросимы и Нагасаки. Только в г. Хиросиме от взрыва атомной бомбы, сброшенной 6 августа 1945 г., погибли 240 тыс. человек. Разрушительный ураган Второй мировой войны, развязанной фашистской Германией, не только унес более 50 млн. человеческих жизней, но и искалечил природную среду на огромной территории.

Научно-техническая революция, создание новой техники и рост производства резко повысили влияние инженерно-хозяйственной деятельности человека на геологическую жизнь нашей планеты. Человек стал активно изменять состояние атмосферы, гидросферы, биосферы и верхних слоев литосферы.

Наступил новый, антропогенный этап в эволюции Земли. Человек по масштабу своей деятельности стал приравниваться к самым могучим деятелям природы и активным факторам геологических процессов. Это находится в полном соответствии с утверждением В. И. Вернадского о том, что человечество в ноосфере — становится мощной планетарной геологической силой. Человеку стала принадлежать ведущая роль в круговороте материи и энергии.

Проблема ноосферы приобрелав последние годы особенно большое экономическое и социальное значение. А. В. Сидоренко отмечает, что «Деятельность человека, преобразующего лик Земли, выступает теперь как разумно направленный геологический фактор. Человек не только механически перемещает вещество Земли, но и играет роль грандиозного геохимического, гидрогеологического, инженерно-геологического агента. Особенно быстро растет значение преобразующей геологической роли человека в настоящее время» [145, с. 51—52].

Эффект воздействия человека на природу определяется не биологической массой человечества и биологическими формами его проявления, которые в планетарном масштабе ничтожны, а сознательной трудовой, инженерно-строительной и культурной деятельностью, умением познавать, подчинять и переделывать природу.

По данным ООН за 1975 г., население нашей планеты составляло 4 млрд. 29 млн. человек. По расчетам Р. К. Баландина, если все люди Земли встанут рядом, они могут уместиться на территории, незначительно превышающей площадь Москвы. Показательно сопоставление биомассы человечества (около $2 \cdot 10^8$ т) и крупных скоплений саранчи, превышающей иногда величину $4 \cdot 10^7$ т. Как источник энергии человечество также не играет существенной роли. Энергетическая мощность одного человека составляет 0,06 л. с., или около 0,04 кВт, а мощность всего человечества — $3 \cdot 10^8$ л. с.,

или $2 \cdot 10^8$ кВт, что в десять раз меньше суммарной энергетической мощности электростанций.

Человек в процессе своей деятельности создает новые химические элементы, изотопы, химические соединения, минералы, породы, почвы, новые типы подземных вод, виды растений и животных. Так, синтетическим путем получены сотни искусственных минералов (алмаз, рубин, графит, кальцит, кварц, слюды, цеолиты и многие другие), искусственные породы (бетон, кирпич, цемент, стекло, керамика, огнеупоры, шлаки, абразивы, каменное литье и др.). Создано до миллиона новых химических веществ. «Человек геохимически переделывает мир» (А. Е. Ферсман).

Человек изменяет ход геохимических, литологических, тектонических и многих других геологических процессов.

В настоящее время используется более половины континентальной территории планеты, 4% этой площади занято городами, промышленными объектами, рудниками, дорогами и другими инженерными сооружениями, 13% — пашнями, садами, плантациями, 25% — пастбищами и лугами, 5% — искусственными лесонасаждениями. Остальная территория занята лесами и неиспользуемыми землями, в составе которых много трудноосваиваемых по климатическим и инженерно-геологическим условиям (Арктика, Антарктика, пустыни, полупустыни, высокогорные районы, болота и пр.).

Лесные массивы занимают около $^1/_3$ поверхности суши, причем первичных лесов среди них стало меньше, чем вторичных, в чем сказалось влияние деятельности человека. По континентам и странам землеиспользование резко различается: например, больше всего распахана Европа, наименее — Австралия.

В СССР более одной трети земельного фонда занято лесами и 50% — под сельское хозяйство.

Воздействие человека на природу охватывает все бо́льшую площадь и проникает в глубь планеты. Глубина отдельных рудников в Южной Африке достигла 3950 м, в Индии — 3800 м; глубина добычи угля в Европе до 1300 м, в СССР до 1100—1200 м; глубина карьеров достигает 800—1000 м, строительных котлованов — 100 м, тоннелей 2000—2500 м, откачек нефти, газа и воды — 8—10 км. В перспективе намечается проведение горных выработок в связи с освоением полезных ископаемых в глубинных зонах земной коры, расширение и углубление различных видов подземного строительства (дорожного, городского, промышленного, гидротехнического и др.).

В год потребляется 12% всех водных ресурсов, ежегодно перемещаются огромные массы поверхностных и подземных вод, изменяется природный круговорот воды. Человек соединяет моря, изменяет географию рек, создает огромные водохранилища, осушает болота, орошает безводные пустыни, откачивает из недр земли колоссальные объемы подземных вод.

В СССР водными путями соединены Белое, Балтийское, Черное, Каспийское и Азовское моря. В бассейнах Волги, Днепра, Дона, Камы, Ангары, Куры и других рек созданы крупнейшие водохранилища протяженностью до 500—670 км, шириной 40—60 км. Эти искусственные «моря» также оказывают влияние на геологическую среду.

Большие изменения геологической среды связаны с добычей полезных ископаемых. СССР является круп-

нейшей минерально-сырьевой дрежавой, способной не только развивать народное хозяйство на базе своих полезных ископаемых, но и экспортировать руды, уголь, нефть, природный газ и др. Из недр земли за последние сотни лет извлечено 125 млрд. т угля, 33 млрд. т нефти, 1 млрд. т горючего газа. В мировой добыче полезных ископаемых доля СССР за последние 15 лет возросла с 10 до 23%. Объем горных работ в нашей стране с учетом вскрыши достигает 7,5 млрд. т, или 3 млрд. м³, в год и ежегодно увеличивается на 10% [96].

Из недр земли ежегодно извлекается 100 млрд. т полезных ископаемых или 25 т на одного человека в год [132]. В связи с добычей полезных ископаемых в земной коре происходят значительные изменения физических полей, глубинных геологических процессов, природные ландшафты трансформируются в горнопромышленные ландшафты.

Трудовая деятельность человека сопровождается обеднением и деградацией природной среды. За истекшие несколько сотен лет уничтожено две трети лесов [18]. Это вызвало изменение климата, активизировало поверхностный сток, эрозию, понижение уровня грунтовых вод. В США за 300 лет сохранилось только одна треть первичных лесов, эрозии подвержено 45% территории, удвоилась площадь пустынь.

На Земле используется около 13% стока рек. При сжигании 7 млрд. т условного топлива выбрасывается в атмосферу $143 \cdot 10^4$ Дж тепла, около 1 млрд. т сажи и вредных веществ. Выбросы в атмосферу сернистого ангидрида во всем мире ежегодно достигают почти сотни миллионов тонн, окислов азота – около половины этого количества [18].

Загрязнение атмосферы принимает глобальный, угрожающий характер. В результате производственной деятельности человека ежегодно перемещаются огромные массы вещества. Сокращается площадь природной целины, растут нарушенные площади. По данным А. М. Рябчикова [132], суммарная площадь антропогенного «бедленда» («дурные земли») на Земле в 1968 г. составляла 4.5 млн. км², или 3% площади суши.

В городах и промышленных центрах сконцентрировано наибольшее воздействие человека на природную геологическую обстановку. Процесс урбанизации сопровождается «срастанием» городов, он захватил Европу, Америку и проникает в другие части света. Процессы урбанизации и преобразования природных геологических ландшафтов приобретают крупноплощадное и региональное значение.

В начале XIX в. городское население Земли составляло 2%, а к концу XX в. ожидается увеличение до 60%. За последние 100 лет население городов увеличилось в 5—10 раз. В настоящее время в городах мира проживает 40% населения. Города все больше становятся основной средой обитания человека. В СССР в 1977 г городское население составляло 62%, в ФРГ — 85%, Англии — 80%, во Франции и в США — 70%.

Мировое производство удваивается через каждые 14—15 лет, к 2000 г. ожидается его увеличение в 4 раза и более. Промышленные и бытовые твердые отходы всех городов на Земле составляют около 3 млрд. т в год, сточные воды — 500 км³, выброс газов и аэрозолей — 1 млрд. т.

Воздействие человека на природу увеличивается с ростом заселения земного шара. К началу неолита

(10—15 тыс. лет назад) первобытные племена насчитывали всего несколько миллионов человек. К началу нашей эры население планеты достигло 200 млн. человек, к 1000 г. н. э. оно составляло около 300 млн., к 1800 г. — 910 млн., к 1900 г. — 1620 млн., к 1965 г. — свыше 3,3 млрд., к 1975 г. — 4,29 млрд. человек. По прогнозу (данные ООН), к 2000 г. население планеты достигнет 6—7 млрд. человек, а к концу XXI в. — 10—12 млрд. человек.

Некоторые ученые на Западе прогнозируют демографический взрыв, который якобы вызовет кризис человеческого общества. Демографические исследования советских ученых [154] не предсказывают чрезмерного роста населения Земли. Неправильно в прогнозах механически применять методы интерполяции и экстраполяции. Уже теперь замедлился рост населения в наиболее развитых капиталистических странах, СССР и во многих странах Азии и Востока. Рост населения в ближайшие 100—200 лет, по-видимому, будет стабилизироваться.

Сфера влияния деятельности человека исторически называлась поразному. А. Е. Ферсман именовал ее техносферой, В. И. Вернадский — ноосферой, позднее появились в литературе и другие термины («антропосфера», «социосфера», «социогеосфера», «ноогеосфера», «стихносфера» и т. п.). Автор пользуется термином «ноосфера». Это область планеты, охваченная разумной деятельностью человека. Ноосфера представляет собой качественно новое состояние биосферы, новый этап в геологическом развитии планеты.

Общие закономерности антропогенного изменения Земли отмечены в решениях научного совещания по рациональному использованию земной коры, состоявшегося в Москве [123]. К ним относятся:

1) расширение и развитие ноосферы по простиранию и в глубину;

2) качественная эволюция ноосферы в прогрессивном и положительном направлении (для условий существования человека) при развитии коммунистических отношений в обществе;

3) повышение регулирующей роли человека в управлении экзогенными и эндогенными процессами в земной коре;

4) уменьшение запасов невозобновляемых полезных ископаемых в связи с ростом их добычи;

5) все более рациональное и бережливое использование природных ресурсов (пространства, вещества и энергии), культивирование природных богатств;

6) создание новых химических соединений, изотопов, минералов, пород, искусственных месторождений полезных ископаемых;

7) активизация геохимического обмена в связи с возрастающим извлечением из недр Земли полезных ископаемых и привносом в земную кору химических элементов, изменение химии земной коры;

8) усиление круговорота воды в природе;

9) изменения гравитационного, электромагнитного, гидродинамического, геотермического, геохимического и других естественных полей Земли, разнонаправленные в различных регионах и частях земной коры;

10) развитие большого комплекса новых антропогенных геологических процессов и явлений, появление на поверхности планеты нового типа геологических образований — антропогенных отложений;

11) увеличение в атмосфере содержания CO_2 и повышение запыленности атмосферы;

12) разогрев планеты в связи с выделением антропогенного тепла;

13) увеличение загрязнения природной среды. В перспективе в странах социализма будет снижаться уровень загрязнения;

14) уменьшение объема отрицательных воздействий человека на природную среду и связанных с ними нежелательных антропогенных изменений земной коры, повышение регулирующей роли человека в улучшении природной геологической среды.

Охрана природы и улучшение окружающей среды стали важнейшей проблемой века.

Генеральная линия и задачи в области охраны природы и рационального использования природных ресурсов в нашей стране изложены в программе КПСС, решениях XXV съезда КПСС, в постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов» в 1972 г. и в соответствующих законах об охране природы, утвержденных Верховным Советом СССР и верховными советами ряда союзных республик.

В СССР широко развернулись работы по охране природы и улучшению среды. На эти цели расходуется более 2,5% национального дохода. Капитальные затраты на очистные устройства составляют 25—40% от основных производственных фондов.

Проблема окружающей среды имеет ряд аспектов: экономический, социологический, геологический, географический, климатический и др.

Не следует понимать охрану природы как незыблемое сохранение всего существующего, как консервацию ее в неизменном состоянии.

Весьма интересным следует считать выступление в печати по этому вопросу акад. М. А. Стыриковича: «Однако я глубоко убежден, что лозунги «не изменять природу», «не трогать Байкал», «не трогать Онежское озеро» совершенно не реалистичны. Конечно, человечеству нужно сохранять в первозданном виде типичные ландшафты на определенной части территории. Для этого создаются заповедники. И, вероятно, они будут расширяться с каждым годом. Но превратить всю планету в заповедник было бы делом не реалистичным и не нужным». Не надо «перегибать палку» и считать, что всякое вмешательство человека в природные дела недопустимо» *.

При изысканиях, проектировании и строительстве городов и других населенных пунктов, промышленных объектов и различных инженерных сооружений следует предвидеть связанные с этим закономерности изменения геологической среды, чтобы не ухудшить природно-геологическую обстановку и не вызвать тяжелых нежелательных последствий.

В геологической науке следует развивать два основных направления: изучение земной коры как источника минеральных ресурсов и изучение Земли как среды обитания и жизнедеятельности человека.

Необходимо развивать учение В. И. Вернадского о геологической деятельности человека, разрабатывать теорию ноосферы применительно к новейшим фактам геологической истории Земли.

Наука о Земле внесла большой вклад в развитие учения о геологической деятельности человека. В по-

---

* «Лит. газ.», 1975, 16 апр.

следние десятилетия стали формироваться антропогенные направления и целые отрасли знаний в геологической и географической науках, предметом исследований которых стали вопросы взаимодействия человека и геологической среды. Изучение геологической жизни Земли стало невозможным без учета тех изменений, которые внес и еще в большей степени будет вносить человек в геологическую среду. Человек как геологический фактор стал предметом изучения общей, динамической геологии, геохимии, петрографии, инженерной геологии, гидрогеологии, географии и других наук.

К этим новым направлениям следует отнести инженерную геологию, техническую мелиорацию грунтов (часть грунтоведения), мелиоративную гидрогеологию, техническую петрографию (школа акад. Д. С. Белянкина и др.), техническую и экспериментальную кристаллографию и минералогию (школа акад. А. В. Шубникова) и др.

В меньшей степени этой проблемои занимаются геофизика (изучение антропогенных изменений физических полей), геотектоника (изменение тектонического режима), литология (изменение процессов литогенеза), рудная геология (проблема создания возобновляемых запасов, искусственных месторождений полезных ископаемых и др.), историческая геология (проблема выделения и стратификации технозойской, или психозойской эры).

В круг задач, решаемых инженерной геологией, постоянно входили вопросы взаимодействия инженерных сооружений и окружающей геологической среды. В этом направлении достигнуты большие теоретические, методические и практические успехи, и поэтому данная отрасль знаний близка к решению проблемы взаимодействия человека и земной коры.

И. В. Попов и Е. М. Сергеев рассматривают инженерную геологию как раздел науки о ноосфере. В работе Е. М. Сергеева и К. П. Мельниковой [142] рассматривается понятие «ноосфера» и по-новому трактуется содержание инженерной геологии как теоретической науки.

В 1973 г. Е. М. Сергеев писал: «...инженерную геологию можно понимать как науку о ноосфере, что хорошо сочетается с основной задачей инженерной геологии — изучением динамики земной коры под влиянием инженерной деятельности человека» [141, с. 12].

Многочисленные работы советских ученых, посвященные инженерно-геологическим процессам и явлениям, в сущности развивали учение о взаимодействии человека и земной коры, об изменении геологической среды (Ф. П. Саваренский, И. В Попов, В. А. Приклонский. Г. Н. Каменский, Е. М. Сергеев, Ф. В. Котлов, П. Ф. Швецов, П. Н. Панюков, Н. В. Коломенский, Г. А. Мавлянов, Л. Д. Белый, Г. С. Золотарев, Е. Г. Качугин, Л. Б. Розовский, Н. И. Кригер, И. А. Печеркин. Г. Г. Скворцов и др.).

Антропогенные геологические процессы в целом изучены недостаточно. Наименее исследованы антропогенные мерзлотные, субтерральные, литодинамические явления и в частности искусственные землетрясения. глубинные процессы, связанные с добычей нефти и газа, извлечением полезных ископаемых из недр земли способами подземного выщелачивания, подземной газификации углей. сланцев, возгонки, плавления пород. Слабо изучены антропогенный карст, вертикальные движения земной поверхности и пр.

В связи с повышенным интересом к проблеме состояния биосферы, природных ресурсов и охраны окружающей среды в последние годы по этой тематике проведено много конгрессов, съездов, конференций, совещаний и симпозиумов на международном, всесоюзном, региональном, межведомственном и ведомственном уровнях. Из всесоюзных следует особо отметить следующие научные совещания и конференции: «Рациональное использование земной коры» (1972 г.), «Прогнозы преобразования окружающей человека городской среды» (1972 г.). «Климат — город — человек» (1973 г.), «Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды» (1976 г.) и др.

Анализ состояния проблемы взаимодействия человека и геологической среды позволяет сделать следующие выводы:

1. Исследования данной проблемы проводятся не по всем отраслям знаний.

2. Существует различное толкование основополагающих понятий (среда, сфера, процесс и т. п.).

3. Отсутствует единое мнение о том, какая наука должна быть ведущей в изучении окружающей среды.

4. В некоторых работах имеет место отход с марксистско-ленинских позиций понимания взаимодействия природы и общества, охраны среды и рационального использования ресурсов, что особенно широко выражено в зарубежной литературе.

5. Антропогенная геологическая среда и антропогенные геологические процессы и явления изучены в несоизмеримо меньшей степени, чем природная геологическая среда и природные геологические процессы и явления. Это объясняется небольшим сроком изучения антропогенных изменений геологической среды.

6. Недостаточно разрабатываются теория и методика прогнозирования изменений геологической среды, а также системы предупреждения и управления нежелательными антропогенными геологическими процессами и явлениями.

7. Недостаточно публикуется монографий и обобщающих работ по данной проблеме.

Антропогенные изменения основных компонентов геологической среды

Человек — одновременно дитя и творец природы. В этой фразе заложен основной диалектический смысл взаимоотношения человека и природной среды.

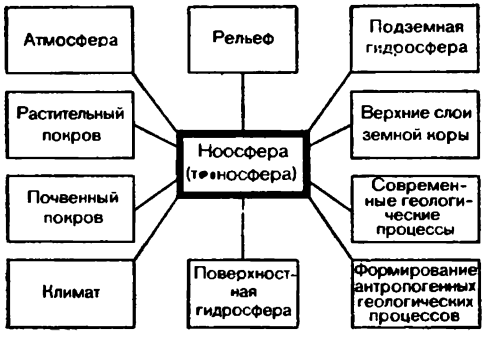
С появлением человека на Земле сначала господствовал процесс адаптации, а затем преобразования природы.

С эволюцией системы человек — техника — природа возрастала роль человека как геологического фактора. Биосфера постепенно преобразовывалась в ноосферу. Появился ноогенез — переход стихийной эволюции к эволюции, управляемой сознанием человека (ноогеосфера). С развитием земледелия, добычи полезных ископаемых, строительства, промышленного производства, с расселением людей, а также в связи с урбанизацией и войнами расширялась техносфера, усиливались антропогенные нагрузки на природный ландшафт. В настоящее время антропогенными воздействиями охвачено 55% площади планеты, в недра Земли человек проник уже на глубину до 10 км, в стратосферу — на десятки километров и стал завоевывать космическое пространство. В результате деятельности человека изменились все компоненты природной среды (рис. 1).

Неправильно рассматривать геологическую среду в отрыве от таких компонентов природы, как атмосфера, растительный покров, поверхностная гидросфера, климат и др.; все они, как и литосфера, подземная гидросфера и геодинамика, взаимосвязаны и представляют собой единое целое нашей планеты. Ф. Энгельс в «Диалектике природы» писал: «Ведь в природе ничто не совершается обособленно. Каждое явление действует на другое и наоборот; и в забвении факта этого всестороннего движения и взаимодействия и кроется в большинстве случаев то, что мешает нашим естествоиспытателям видеть ясно даже самые простые вещи» *.

В эпохи рабовладельчества, феодализма и особенно капитализма шел стихийный процесс разграбления природы, деградации и уничтожения природных ландшафтов. В XX в.,

РИС. 1.
Схема влияния деятельности человека на природную среду



* К. Маркс, Ф. Энгельс. Соч. Изд. 2-е, т. 20, с. 494.

особенно во второй его половине, стало бурно расти загрязнение и обеднение среды.

Ниже освещаются основные особенности и закономерности изменения компонентов природной среды: атмосферы, растительного покрова, почвенного покрова, поверхностной гидросферы, рельефа, климата. подземной гидросферы и современных геологических процессов и явлений. Автор по возможности старался показать взаимосвязь изменений одних компонентов природной среды с другими и их геологическое и народнохозяйственное значение.

АТМОСФЕРА

Атмосфера — важнейший компонент природной среды — играет большую геохимическую и геологическую роль в жизни планеты. Состав атмосферы изменяется под влиянием естественных и антропогенных факторов. Естественные изменения связаны с эволюцией литосферы, гидросферы и биосферы. Например, естественное запыление атмосферы связано с деятельностью вулканов, развеванием песков пустынь, распылением пыльцы растительного покрова и т. п.

Антропогенные изменения возникли с появлением человека на Земле. Использование им огня сопровождалось выделением углекислоты, дыма и золы.

Воздух загрязняется газами (90%) и аэрозолями (10%), загрязнение захватило почти всю тропосферу (7—18 км), но преимущественно ее нижние слои.

В составе пылегазовых выбросов насчитывается около 140 вредных веществ. Некоторые из них не имеют ни цвета, ни запаха и не сразу оказывают вредное влияние на окружающую среду (альдегиды, органические растворители и др.). За последние 30—40 лет загрязнение атмосферы возросло в 3 раза; без принятия эффективных мер к 1990 г. оно возрастет в 4 раза. к 2000 г. в 6—8 раз.

Главными источниками загрязнения атмосферы являются промышленность, транспорт, теплоэлектростанции, а также города, поселки. сельское хозяйство, военные действия, ядерные взрывы и пр. Удельный вес источников загрязнений зависит от природных, экономических, технологических и других условий.

Максимальное загрязнение сосредоточено в крупных индустриальных городах. В городах с населением более 500 тыс. человек загрязнение в 1,5—2 раза выше, чем в более мелких городах; в городах с металлургической и нефтеперерабатывающей промышленностью содержание сернистого газа в 2—3 раза выше, чем в других городах такого же размера. С увеличением в городе автомашин от 10 до 50 тыс. содержание CO в атмосфере возрастает в 2—3 раза.

Мировой автотранспорт (более 250 млн. машин) выбрасывает в атмосферу ежегодно 50 млн. т углеводородов и 200 млн. т CO. За 1 ч 200 человек выделяют 8 кг CO_2. столько же, сколько поглощают зеленые растения площадью в 1 га. На динамику загрязнений оказывают влияние такие природные факторы. как климат, погодные условия (осадки, туман, ветер, влажность и др.), рельеф, растительность, водоемы и пр. Например, дожди эффективно очищают атмосферу, ветры разгоняют застойность загрязнений, препятствуют образованию смога и т. п.

Степень загрязнения атмосферы изменяется по горизонтали и вертикали. Различают загрязнение мест-

ное, крупноплощадное, региональное, континентальное и глобальное.

Закономерности площадного распространения обусловлены социально-экономическими условиями (уровнем индустриализации и цивилизации), климатической зональностью, подвижностью ингредиентов загрязнения, мощностью источников загрязнения и др. Например, радиоактивное загрязнение воздуха, вызванное ядерными взрывами, сохраняется в течение нескольких месяцев и распространяется на тысячи и десятки тысяч километров, захватывая несколько стран. Пыль может переноситься на расстояние более 6000 км. Увеличение в атмосфере CO_2 приобрело глобальный характер. Примером континентального масштаба загрязнений может служить «кислотный дождь» в Скандинавии, вызванный эмиссией окислов серы из Великобритании и ФРГ. Около 95% антропогенных CO и SO_2 выбрасывается в атмосферу в северном полушарии. Загрязнения стали достигать Арктики и Антарктиды, где во льдах и в яйцах пингвинов стали обнаруживать токсические вещества (ДДТ и др.).

Максимальное загрязнение атмосферы отмечается в капиталистических высокоиндустриальных странах (США, Япония, ФРГ, Англия).

По вертикали космическими наблюдениями отмечены загрязнения тропосферы на высоту 20 км и более. Советско-американская метеорологическая экспедиция в районе г. Рыльска Курской области установила аэрозольные слои на высоте 15—20 км (1975 г.). Состояние атмосферы изменяется во времени. Различают суточные, сезонные, годовые и вековые изменения.

За истекшие 100 лет в атмосферу поступило 360 млрд. т углекислоты, вследствие чего концентрация углекислого газа возросла на 13%, 1,35 млн. т кремния, 1,5 млн. т мышьяка, более 1 млн. т никеля, 900 тыс. т кобальта. Запасы свободного кислорода на планете уменьшаются, а содержание углекислоты увеличивается. В связи с использованием в качестве топлива угля, нефти и газа эти изменения достигли гигантских размеров. Количество кислорода ежегодно уменьшается более чем на 10 млрд. т. За последние 50 лет израсходовано кислорода столько же, сколько за весь антропогеновый период. Однако запасы кислорода столь велики, что кислородный кризис, по мнению А. П. Виноградова, не угрожает [18].

Загрязнение атмосферы отрицательно влияет на людей, животных, растения, здания, сооружения. Оно наносит огромный ущерб экономике стран. Ускоряется разрушение строительных материалов, металлов, резины, тканей, бумаги. В промышленных городах железо ржавеет в 3 раза быстрее, чем в остальных городах, и в 20 раз быстрее, чем в сельской местности, скорость коррозии алюминия в городе в 100 раз выше, чем на селе. Дерево, кожа, хлопок быстрее разрушаются в загрязненном воздухе, чем в чистом. Разрушаются памятники истории и культуры.

Материальный ущерб от загрязнения атмосферы огромен; в США убытки составляют 16,1 млрд. долларов в год (1971 г.).

Поступление в атмосферу SO_2 вследствие сжигания топлива составляет около 150 млн. т в год, что эквивалентно 200 млн. т H_2SO_4, в связи с чем снижается pH природных вод. Ежегодно выбрасывается серы (в млн. т): в Великобритании — 3,2, в Швеции — 0,3, в Нидерландах — 0,5, в ФРГ — 1,6, во Франции —

1,6. При сжигании нефти, угля, торфа ежегодно выбрасывается в атмосферу 1,5 млрд. т углерода. Пыли в атмосферу поступает более 2 млрд. т, к 2000 г. запыление, по-видимому, возрастет в 2 раза.

Над крупными промышленными городами нередко висят «шапки» загрязненного воздуха (рис. 2). Благодаря широкому фронту работ по мелиорации атмосферы состояние ее стало заметно улучшаться. В большей части городов и городских поселков в нашей стране используется газообразное топливо, что значительно снизило загрязнение, в частности уменьшилась загрязненность воздуха в Москве, Ленинграде, Саратове, Горьком, Баку, Уфе, Кривом Роге, Череповце, Иркутске, Магнитогорске, Челябинске и во многих других промышленных городах. Однако в воздухе на улицах отдельных городов иногда еще отмечается присутствие окиси углерода вследствие неполного сгорания в моторах автотранспорта бензина, а также свинца, который добавляется в бензин в качестве детонатора.

Процесс загрязнения атмосферы в населенных местах иногда усиливается из-за неправильного расположения предприятий (без учета розы ветров). Это имело место при планировке Магнитогорска, Сумгаита, Северодонецка. Тагила и других городов.

Изменение состава атмосферы приобретает большое геологическое значение, что обусловлено взаимосвязью ее с другими компонентами природной среды. Загрязнения атмосферы проникают в гидросферу, биосферу

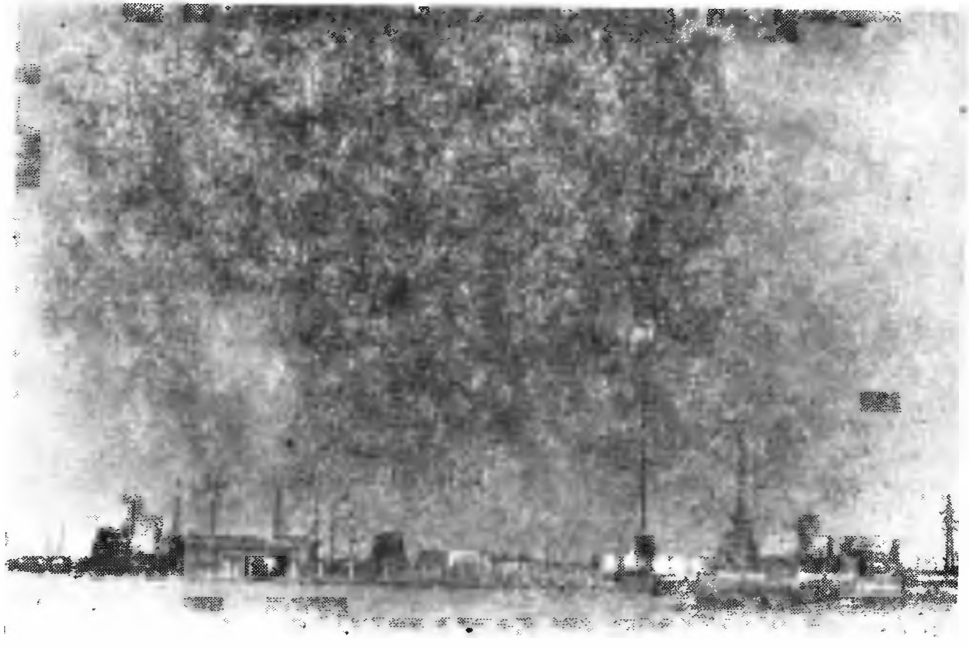


РИС. 2.
Загрязнение атмосферы факелами нефтеперерабатывающего комбината (фото Л. Б. Иванцова)

и литосферу; изменяется состояние климата, почв, растительного покрова, поверхностных и подземных вод, верхних слоев литосферы и характер некоторых экзогенных геологических процессов.

Увеличение CO_2 оказывает «парниковый» эффект и вызывает повышение температуры поверхности Земли и воздуха. Разогрев Земли может вызвать потепление климата, таяние арктических льдов, затопление прибрежных территорий. Запыление атмосферы приводит к обратным явлениям — понижается температура, так как пыль служит экраном, задерживающим солнечную радиацию.

Глобальное похолодание, наступившее 30 лет назад, некоторые ученые связывают с увеличением запыленности атмосферы и главным образом с влиянием атропогенных факторов. Пока неясно, какой из этих процессов будет преобладать. Загрязнения атмосферы изменяют местный климат и микроклимат городов, уменьшая солнечную радиацию на 30–40%, увеличивая туманы, атмосферные осадки. В ряде городов запаздывают рассветы, раньше наступают сумерки, уменьшается солнечное освещение, в связи с чем увеличивается продолжительность электроосвещения на 25%.

Аэрозоли тяжелее воздуха оседают на поверхности Земли и участвуют в процессе антропогенного литогенеза. В крупном промышленном городе в среднем за год выпадает до 400 т и более сажи, пыли и других твердых частиц на 1 км². ТЭЦ средней мощности выбрасывает в атмосферу летучей золы до 400 т в сутки, что по объему равно 26 железнодорожным вагонам.

Мелиорация атмосферы в СССР осуществляется в двух основных направлениях: 1) применение технологий, исключающих или резко снижающих вредные выбросы в атмосферу (беструбное производство) и 2) проведение различных мероприятий, позволяющих снизить выход вредных компонентов до санитарной нормы.

В СССР разработаны ПДК (предельно допустимые концентрации) для 170 загрязняющих атмосферу веществ, широко проводится контроль за состоянием атмосферы (свыше 3 млн. анализов воздуха в год, космические наблюдения). Предполагается, что развитие и совершенствование очистных сооружений уменьшит к 1980 г. по сравнению с уровнем 1970 г. выброс пыли на 50%, окиси углерода — на 40%, углеводородов — на 50% [101].

Проблема загрязнения атмосферы носит социальный характер, так же как и проблема окружающей среды.

РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ

Растительность — часть биосферы — имеет длительную эволюцию, связанную с геологической историей Земли, сменой палеогеографических и экологических условий. Флора Земли исключительно разнообразна, насчитывается около 300 тыс. видов растений. Растительность играет большую роль в жизни Земли и человека. Географическое размещение растительных ассоциаций и формаций подчинено широтной и вертикальной зональности. Фитоценозы обособляются в полярной пустыне, тундре, лесотундре, лесной зоне, лесостепи, степи, субтропиках, тропиках и других зонах. Леса — регуляторы многих геологических процессов. Значительна роль растительности в геологической жизни Земли. Она участвует в кру-

говороте веществ в природе, формировании атмосферы и литосферы. Растительность служит источником биогенного породообразования, участвует в геохимическом круговороте веществ, выделяет кислород, поглощает углекислоту, поставляет C, N, P и другие химические элементы. Она участвует в формировании геологических процессов (выветривания, осадкообразования, поверхностного и подземного стока, эрозии, абразии, оползней, селей, дефляции и др.), изменяет свойства почв и грунтов.

В настоящее время площадь лесов в мире превышает 3,7 млрд. га и составляет одну треть суши. Средняя лесистость 29%; в составе лесов лиственных 66,7%.

В СССР площадь лесов занимает 1/3 всей территории. По количеству лесов СССР занимает первое место в мире. В 1918 г. по инициативе В. И. Ленина леса были национализированы. В капиталистических странах значительные лесные массивы (две трети) находятся в частной собственности, что затрудняет сохранение и мелиорацию лесов.

Растительный мир непрерывно изменяется под влиянием естественных и антропогенных факторов. Естественные преобразования фитогеоценозов вызываются эндогенными и экзогенными, климатическими изменениями среды.

Очень велико влияние деятельности человека на растительный покров, вызывающее как обеднение, так и обогащение флоры. Антропогенные изменения охватили почти всю растительную оболочку Земли. Изменяются площадь, состав, географическое размещение растительного покрова. Искусственные воздействия разделяются на прямые и косвенные, положительные и отрицательные. К антропогенным факторам отрицательного характера относятся вырубка, раскорчевка и выжигание лесов, затопление их водохранилищами, лесные пожары, происходящие на 90% по вине человека, нарушения растительного покрова при строительстве населенных пунктов, горнопромышленных предприятий, транспортных и других сооружений, вытаптывание травяного покрова и лесной подстилки людьми и животными, фитопатологические заражения, военные действия и др.

К косвенным воздействиям относятся химическое порабощение растений при загрязнении атмосферы, искусственное заболачивание, подтопление территорий и чрезмерное водопонижение, антропогенная эрозия, захоронение травяного покрова под культурным слоем в городах и поселках и др. Положительное преобразование растительности вызывается лесоразведением, лесовозобновлением, озеленением населенных пунктов, дорог, созданием лесозащитных полос и осуществлением других видов фитомелиорации.

Воздействия на растительный покров начались с первого этана истории человечества и усиливались по мере развития общества, роста земледелия и производства. История культурных растений насчитывает тысячелетия. Зерна хлебных растений обнаружены в раскопках каменного века. Вырубались леса, создавались поля, выращивались полезные человеку культуры. За последние 300 лет площадь лесов сократилась вдвое. До использования каменного угля леса интенсивно вырубались в качестве топлива. В 1915 г. только Москва сожгла в топках и печах 3,37 млн. м³ дров. Еще и теперь четыре пятых человечества живет в деревянных домах и использует для отопления дрова [84].

В течение многих веков древесина служила основным строительным материалом. Города и поселки в России были преимущественно деревянными. Наиболее интенсивно леса уничтожались в связи с земледелием, строительством и бытом (топливо).

На Земле возделывается до 1500 видов сельскохозяйственных растений (без древесных и декоративных), а с учетом декоративных и лекарственных — около 20 тыс. видов. В СССР хозяйственное значение имеют 400 видов. Площадь пахотных земель и садов составляет более 1 млрд. га или 10%.

В железном веке (3—1,5 тыс. лет назад) леса занимали 47% суши, в настоящее время — только 29%. За несколько сотен лет мировая площадь лесов уменьшилась с 6900 млн. га до 3250 млн. га. В европейской части России только с конца XVII в. до начала XX в. вырублена почти одна треть лесов. В США площадь взрослого леса сократилась на две трети, а девственных лесов осталось не более 10%. В Северной Африке площадь лесов сократилась в 3 раза.

В бассейне Днестра (Украина, Молдавия) площадь лесов сократилась с 95 до 35—15%. В СССР леса вырубаются в основном в европейской части, т. е. 70% заготовок ведется на территории, где находится лишь 20% лесных запасов.

Массовое уничтожение растительности приводит к нежелательным последствиям (изменение климатических, геологических, экологических, ландшафтно-эстетических и хозяйственно-экономических условий). Изменения растительности вызывают изменения климатических условий. Зелень фильтрует загрязнение атмосферы и улучшает ее состояние, выделяет антисептические фитонциды. В 1 м³ воздуха в лесу содержится 490 бактерий, а в больших городах — 36 000. Леса — санитары: кроны еловых деревьев задерживают на 1 га ежегодно 32 т пыли, сосновых — 36 т, дубовых — 56 т и буковых — 63 т. Леса — гигантские фабрики кислорода (поставляют одну треть кислорода) и поглотители углекислоты, токсических газов. Они уменьшают аэрозольное помутнение на 20—40%, увеличивают ультрафиолетовую радиацию на 15—20%, уменьшают концентрацию выхлопных газов на 5—40%. Леса — фильтры воздуха: зеленые насаждения площадью в 1 га снижают запыленность воздуха на этой территории на 35—45%. Леса смягчают климат, выступают в роли регулятора температуры атмосферы и Земли. Они являются проводниками тепла, несколько выравнивают температуру Земли и воздуха. Еще исследованиями Г. Марша [94] установлено, что в странах умеренного пояса, покрытых большими лесами, лето более холодное и влажное и короче, а зима более умеренная, сухая и продолжительная. По мнению Г. Марша, с истреблением лесов во многих странах прекратились дожди, туманы, исчезли потоки, ключи, т. е. растительность лишилась влаги.

Растительность активно регулирует динамику многих геологических процессов, состояние почв и грунтов, влияет на окружающую геологическую среду. Она участвует в процессах выветривания горных пород. С фитогенным выветриванием связаны развитие трещиноватости, диспергации, изменение гранулометрического, химико-минерального состава грунтов, увеличение содержания углерода, органогенных соединений.

Уничтожение растительного покрова активизирует дефляцию, дви-

жение песков, образование пыльных бурь. Ветровой эрозией поражены огромные площади земель. Вырубка саксауловых зарослей в пустынях Средней Азии вызывает движение песков.

Уничтожение лесов и растительного покрова в горных странах оживили склоновые геологические процессы. В горных районах Кавказа, Крыма, Карпат, Средней Азии, Казахстана и в других местах с этим связано развитие плоскостной, линейной эрозии, селей, оползней, осыпей. Лес регулирует поверхностный сток и режим водоемов. Леса и лесозащитные полосы выполняют снегозадерживающую и снегораспределительную функции, снижают скорость ветра, выдувание снега. При вырубке лесов до 70% дождевых и почти 100% снеговых вод стекает по поверхности почв, вследствие чего весной и летом при дождях возникают большие разливы, а в сухое время реки мелеют или высыхают. Многие исследователи связывают с массовой вырубкой лесов понижение уровня водоемов. Леса способствуют накоплению влаги, усиливают инфильтрацию осадков и повышают уровень грунтовых вод. Леса на площади 100 тыс. м^2 увеличивают питание грунтовых вод на 0,3—0,8 км^3 [88]. Ликвидация лесов вызывает иссушение почв и способствует их выдуванию. Леса регулируют температурный режим почв и грунтов, увеличивают высоту снежного покрова и уменьшают глубину промерзания грунтов. Истребление лесов усилило эрозию, дефляцию и вынос терригенного материала в море, с чем связано обмеление берегов, образование отмелей, кос, островов, увеличение площади суши [94].

Уничтожение лесов вызвало нежелательные экологические последствия для обитания фауны. Сокращается и угнетается фауна и флора. около 20 тыс. растений стали редкими. Ландшафтные изменения, связанные с воздействием человека на флору, имеют геологическое значение. Процессы роста пустынь, полупустынь и степей многие исследователи связывают с деятельностью человека.

О последствиях истребления лесов писал Ф. Энгельс: «Людям, которые в Месопотамии, Греции, Малой Азии и в других местах выкорчевывали леса, чтобы получить таким путем пахотную землю, и не снилось, что они этим положили начало нынешнему запустению этих стран, лишив их, вместе с лесами, центров скопления и сохранения влаги» *. Лес легко уничтожить, но трудно восстановить. Для возрождения первичного леса требуется от 60—100 лет до нескольких столетий. В СССР намечены и осуществляются в огромных масштабах работы по расширению и реконструкции растительного покрова и его охране. Лесопользование регулируется «Основами лесного законодательства СССР и союзных республик» (1977 г.).

До революции в России было посажено всего около 900 тыс. га леса. За 50 лет Советской власти посажено новых лесов на площади 18 млн. га. Для борьбы с эрозией, развеванием песков, а также с целью повышения урожайности созданы лесозащитные полосы на площади более 2 млн. га (Белгород — Дон (700 км), Камышин — Волгоград (250 км), Саратов — Астрахань (1000 км) и др. Созданы лесопарковые пояса вокруг 4600 городов и рабочих по-

---

* К. Маркс, Ф. Энгельс. Соч. Изд. 2-е, т. 20, с. 496.

селков. Проведены большие работы по озеленению городов страны. Средняя степень озеленения городских территорий возросла с 13 до 36%. Только в Москве за последние 10 лет создано 20 парков и садов, 300 скверов и зеленых площадок, озеленено 6 тыс. га территории, в том числе 400 улиц и магистралей. В СССР в среднем ежегодно высаживается нового леса на площади 1,2—1,3 млн. га и осуществляется его возобновление на 0,7—0,8 млн. га. Новые лесопосадки уже опережают вырубки. Приживаются лесопосадки в лесотундре, степях и полупустынях. Изменяется ландшафт страны. В. В. Маяковский, пребывая в Баку, назвал этот город «масляным пятном на пиджаке Советского государства» и отметил почти полное отсутствие зелени: «на всех бульварах под башней Девьей каких-нибудь штук восемнадцать листиков...». А теперь площадь зеленых насаждений в Баку составляет около 5 тыс. га.

В разных климатических зонах изменения растительного покрова неоднозначны. В городах, расположенных в лесной зоне, наблюдается сокращение площади лесов и антропогенная перестройка растительных формаций в направлении развития азональной флоры. Для городов в пустынях, полупустынях и степях характерен другой процесс создание растительного покрова, оазисов древесной и кустарниковой флоры с применением искусственного орошения (Ташкент, Баку, Одесса и др.).

Широко осуществляются охранные мероприятия, создаются новые национальные парки, заповедники, резерваты. Советские люди воспитываются в духе бережного отношения к «зеленому другу». В свое время В. И. Ленин нетерпимо относился к губителям растений, призывал сурово наказывать виновных.

Составляется список растений, которые необходимо охранять на территории СССР, в него включены редкие и исчезающие растения (63 семейств и 358 видов).

Флору можно использовать в инженерно-геологических целях как одно из средств инженерно-геологического мелиорирования. Фитомелиорация применяется для: 1) улучшения микроклимата, 2) понижения уровня грунтовых вод и осушения грунтов (деревья-насосы, например эвкалипты и др.), 3) стабилизации оползневых склонов, 4) борьбы с эрозией, особенно с оврагообразованием, 5) борьбы с дефляцией, 6) ослабления абразии, 7) предупреждения заиления водоемов, 8) борьбы с селями, осыпями и др.

Зарождается (например, в ГДР) новое научное направление — «биогеомеханика грунтов».

Необходимо более широкое использование растений в инженерной геологии и гидрогеологии в качестве средства улучшения окружающей геологической среды.

ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ

Почва — важнейший компонент геологической среды, одно из ценнейших природных богатств. С почвой связаны растительный мир, биосфера, она кормит человека и поэтому требует к себе исключительно бережного отношения. И это тем более важно, что для восстановления нарушенных и разрушенных почв нужны десятки и сотни лет. Образование 1 см гумусного слоя протекает в течение 150 лет.

Под воздействием человека изменяется состав, состояние и свойства почв, перестраивается направлен-

ность почвообразовательного процесса. Антропогенные изменения почвенного покрова происходят в трех основных направлениях: 1) антропогенная эволюция первичных почв, 2) образование новых почв антропогенного типа и 3) прекращение почвообразовательного процесса. Антропогенная эволюция первичных почв связана с изменением условий почвообразования вследствие искусственной смены фитоценозов, которая в свою очередь обусловлена вырубкой лесов, вспашкой земель, процессами остепнения, опустынивания, мелиорацией земель (орошение, осушение, биологическое и химическое удобрение), загрязнением почв и другими воздействиями, изменяющими физико-механические и химические свойства почвенного покрова. В связи с изменением естественного хода почвообразовательного процесса подзолистые почвы постепенно переходят в дерново-подзолистые, дерново-луговые, болотные и др.

При ежегодной вспашке полей на поверхности планеты происходит взрыхление 6 тыс. км^3 почвы, усиливаются обмен веществ в почвенном покрове, а также воздействие воздуха, влаги и тепла.

С ирригацией связаны процессы засоления, заболачивания, обводнения почв; с осушением — процессы обезвоживания, иссушение торфяных почв и дефляция.

Почва поглощает из атмосферы аэрозоли. Промышленные загрязнения изменяют почвенную среду, способствуя увеличению в ней тяжелых металлов, поглощенных оснований, микроэлементов и воднорастворимых солей хлора, серы и др.

На заселенных, лесопарковых и рекреационных территориях деградация почв связана с механическим их уплотнением, вызывающим уменьшение пористости на 10–20%, увеличение объемной массы, снижение воздухо-водопроницаемости и поступления в почву влаги, что приводит к отмиранию растительности. Новые типы антропогенных почв образуются в районах новых лесопосадок, в городах (парках, садах, бульварах, скверах, питомниках и др.), болотные почвы развиваются на полях орошения и заболачивания. Горноотвальные почвы формируются в районах выработок в связи с рекультивацией земель.

Прекращение почвообразовательного процесса происходит при затоплении местности водохранилищами, застройке земель городами, поселками, дорогами, аэродромами, при покрытии земель насыпями, культурным слоем, асфальтом, срезке почв и грунтов в связи с вертикальной планировкой местности.

Почвенный покров — элемент геологической среды, его изменения влияют на состояние геологической обстановки.

Антропогенные изменения почвенного покрова оказывают влияние на свойства подстилающих грунтов, режим грунтовых вод. Нарушение почвенного покрова активизирует геологические процессы выветривания, эрозии, дефляции, остепнения, опустынивания, деградации многолетней мерзлоты, засоления грунтов, влияют на микроклимат. Охрана и мелиорация почв способствует улучшению геодинамических условий среды.

ПОВЕРХНОСТНАЯ ГИДРОСФЕРА

Поверхностная гидросфера — важнейший элемент природной геологической среды. Водная оболочка

поверхности Земли тесно взаимосвязана с атмосферой. биосферой и литосферой.

Геологическое значение гидросферы огромно. Воды гидросферы испаряются, поступают в атмосферу и выпадают в виде осадков. которые насыщают породы, образуя подземную гидросферу. Круговорот воды в природе подробно рассмотрен В. И. Вернадским. В круговороте воды проявляется единство природных вод в системе атмосфера — гидросфера — биосфера — литосфера.

ТАБЛИЦА

ВИДЫ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ГИДРОСФЕРЫ

Прямые воздействия	Косвенные воздействия
Уничтожение болот, озер, стариц, прудов. ручьев, рек	Вырубка лесов
Регулирование поверхностного стока созданием плотин, водохранилищ, каналов, шлюзов, гидротехнических тоннелей	Лесоразведение и осушение болот
Водоотбор для промышленного, сельскохозяйственного, питьевого и коммунального водоснабжения	Распашка земель, меры, вызывающие активизацию почвенной эрозии
Сброс промышленных, хозяйственных и бытовых стоков, шахтных вод	Снегозадержание
Сброс ирригационных вод	Снегоуборка
Поступление аэрозолей из атмосферы	Изменения поверхности земли (рельефа и пр.), влияющие на режим стока атмосферных осадков
Загрязнения при подводной добыче полезных ископаемых (нефть, газ и др.)	Уничтожение естественных дрен
Загрязнения от судоходства	Искусственное водопонижение подземных вод
Поступление загрязненных дождевых и снеговых вод	Удобрение почв
Подводные ядерные взрывы	Применение ядохимикатов в сельском и лесном хозяйстве
Подводное захоронение радиоактивных и других токсических материалов	Загрязнения поверхности земли
Устройство подводных сооружений, свалок	Молевый лесосплав
	Антропогенная эвтрофизация
	Загрязнения пляжей

СССР имеет выход к трем океанам, его территорию омывают 14 морей. Суммарная длина материковой линии составляет 60 085 км. В СССР насчитывается около 3 млн. рек и ручьев протяженностью более 0,5 км, в том числе 200 тыс. рек протяженностью более 10 км. Общая длина рек равна около 3 млн. км. По количеству рек и их суммарной протяженности СССР занимает первое место в мире. Озер в стране площадью более 10 га насчитывается 330 тыс., из них 65 тыс. искусственных водохранилищ и прудов. Общее число озер с учетом малых и очень малых тундровых и других достигает (по А. А. Соколову) 2,5 млн., водная поверхность — 1 млн. км^2, что составляет 4% территории страны.

Наша страна обладает значительными водными ресурсами. На одного человека приходится около 60 м^3 воды в сутки. Средний годовой сток рек составляет 4350 км^3, что может дать энергию, равную 3680 млрд. кВт·ч. Однако водные ресурсы территориально распределены неравномерно.

Вода играет огромную роль в хозяйстве страны. На нужды промышленности, сельского хозяйства, транспорта и коммунального хозяйства в СССР расходуется примерно 30—40% меженного годового стока всех рек.

Проблема охраны и рационального использования водных ресурсов является актуальной проблемой века. Недопустимо количественное и качественное истощение водных ре-

сурсов, особенно пресных вод. На поверхностной гидросфере сказываются даже незначительные как прямые, так и косвенные воздействия человека.

Антропогенные факторы прямого и косвенного воздействия на состояние и режим поверхностных водоемов приведены в табл. 1.

Под влиянием антропогенных воздействий поверхностная гидросфера изменяется в направлении как деградации, так и улучшения.

К показателям деградации гидросферы относятся истощение водных ресурсов, высыхание и исчезновение рек и озер, химическое, тепловое, механическое и биогенное загрязнение водоемов, гибель водной флоры и фауны, понижение биологической продуктивности, снижение способности водоемов к самоочищению.

Улучшение состояния гидросферы обеспечивается за счет регулирования водных ресурсов, межбассейновой переброски стока в целях выравнивания водообеспеченности регионов, реконструкции водоемов для увеличения водности, биологической продуктивности, улучшения судоходных и санитарно-гигиенических условий водоемов. Гидрографическая сеть претерпевает изменениях в двух противоположных направлениях: а) возникновение антропогенной гидрографической сети — водохранилищ, озер, прудов, каналов и болот и б) ликвидация мелких рек, ручьев, болот, озер, прудов, стариц, мешающих планировке и благоустройству городов и поселков.

Реки

Речная сеть в СССР распределена неравномерно, что обусловлено геоморфологическими и климатическими условиями. Густая сеть рек приурочена к зонам избыточного увлажнения, в аридной зоне (Средняя Азия и Центральный Казахстан) рек мало, 54% территории страны покрыто реками, текущими на север (Онега, Северная Двина, Печора, Обь, Енисей, Селенга, Лена, Колыма и др.). Поверхностный сток сформировался не совсем благоприятно в экономическом отношении: 82% стока направлено в Северный Ледовитый и Тихий океаны, 4% — в Балтийское море, 4% — в Черное и Азовское моря и 10% — в Каспийское и Аральское моря.

Суммарный годовой сток рек мира равен 38 150 км³. Речной сток в СССР составляет 4350 км³/год, в том числе сток Енисея — 623, Лены — 515, Волги — 259, Днепра 52 км³/год.

Реки играют огромную роль в жизни страны — транспортные магистрали, источники водоснабжения, гидроэнергетических ресурсов, рыбное богатство, места отдыха трудящихся. К берегам рек тяготеют города, поселки, промышленные предприятия, дороги.

За годы Советской власти осуществлена грандиозная программа реконструкции речной сети. На многих реках построены гидроузлы, созданы ГЭС, водохранилища. В каскады водохранилищ превращены такие крупные реки страны, как Волга, Кама, Днепр, Дон, Обь, Иртыш, Ангара, Сырдарья, Кура, Енисей и многие другие, и такие работы будут продолжаться.

Улучшены судоходные условия рек проведено благоустройство берегов. Многие реки соединены и получили выход в море, что повысило их транспортное значение и способствовало экономическому развитию многих экономических районов. Изменен режим рек, водохранилища

сглаживают сезонные амплитуды уровней и расходов, уменьшают скорости течения.

Тысячи малых рек, на берегах которых расположены предприятия, поселки, и города, загрязняются, истощаются, пересыхают, а некоторые полностью прекращают свое существование. Только на территории Москвы за 800 лет ее существования исчезло около 100 мелких речек и ручьев – притоков Москва-реки.

Загрязняются и такие речные гиганты, как Волга, Кама, Дон, Днепр, Обь, Иртыш и др.

В сильной степени реки загрязняются промышленными, хозяйственными и бытовыми стоками. В реки мира ежегодно сбрасывается 420 км³ сточных вод. В реки и водоемы СССР сбрасывается около 55 млрд. м³/год сточных вод. По расчетам гидрологов, объем сточных вод к 1980 г. увеличится в 2,5 раза, а если масштабы поступления сточных вод сохранятся, то их объем к 2000 г. увеличится примерно в 15 раз [127]. Чрезмерно загрязнены реки в индустриальных капиталистических странах Европы, в США и Японии. Примерно 40—45% сточных вод (промышленных и бытовых) сбрасывается в реки и моря мира в неочищенном виде. 1 м³ стоков загрязняет 10 м³ чистой воды [99]. К 1957 г. Рейн — крупнейшая река Европы — почти полностью лишилась рыбы. В Японии некоторые реки отравлены настолько, что запрещено купание и даже катание на лодках.

Водохранилища

В изменении геологической среды большую и активную роль играют водохранилища. Они предназначены для регулирования стока. ирригации, гидроэнергетики, судоходства, водоснабжения, рыбоводства и др. Водохранилища разделяются на равнинные, предгорные и горные.

В условиях СССР равнинные водохранилища имеют большую протяженность (до 670 км) и площадь (до 6400 км²) и небольшую глубину (чаще 5—15 м). Горные водохранилища имеют меньшую протяженность и площадь, но бо́льшую глубину (до 80- 100 м).

Чаще к водохранилищам относят искусственные водоемы с регулируемой полезной емкостью более 1 млн. м³. Таких водохранилищ в мире к началу 60-х годов насчитывалось около 5000 с суммарной емкостью около 2047 км³, а к 1970 г. число их составило 6000.

Советский Союз занимает по водохранилищам первое место в мире. В стране насчитывается более 1000 водохранилищ, которые занимают ¹/₄ площади водного зеркала пресноводных внутренних водоемов. В лесной зоне расположено 75% водохранилищ, в степной 12%, в полупустынях — 10%.

В настоящее время водохранилища созданы почти на всех крупных и мелких реках, наиболее крупные — на Волге, Днепре, Каме, Куре. Оби, Иртыше, Ангаре. Енисее. Сырдарье и др.

На территории СССР расположено огромное число прудов, устроенных для хозяйственных целей на небольших речках, ручьях, в оврагах, балках, имеются и копаные пруды. В РСФСР в 1966 г. насчитывалось 40 114 прудов, в УССР — 22 061.

К 2000 г. объем водохранилищ мира возрастет до 10—12 тыс. км³ [1]. В настоящее время эксплуатируется 1000 водохранилищ. имеющих 1 млн. га мелководных площа-

дей (глубиной до 2 м) и 500 тыс. га подтопленных прилегающих земель. К началу 1970 г. насчитывалось 921 водохранилище, из них объемом более 50 млн. м³ — 186, от 10 до 50 млн. м³ — 206, от 1 до 10 млн. м³ — 529.

Суммарная площадь водного зеркала водохранилищ, где созданы ГЭС, составляет 118 296 км², их полезный объем 449,8 км³. Суммарное протяжение берегов водохранилищ превышает 50 тыс. км.

Объем водохранилищ колеблется от нескольких миллионов до сотен миллиардов кубических метров. Наибольшие объемы имеют (в км³): Братское (180), Красноярское (77,5), Усть-Илимское (59,4), Куйбышевское (58,0) водохранилища.

Самые крупные по площади водохранилища (в тыс.км²): Куйбышевское — 6,4, Братское 5,5, Бухтарминское — 5,6.

Длина отдельных водохранилищ достигает 670 км, Братское — 550 км, Волгоградское — 670 км, Куйбышевское — 650 км. Некоторые водохранилища охватывают несколько природных зон, например, Бухтарминское пересекает зоны пустыни, полупустыни и степи. Ширина водохранилищ изменяется от 1 до 60 км. Наибольшую ширину имеют Рыбинское (60 км), Братское (25 км), Куйбышевское (40 км), Цимлянское (35 км), Камское (35 км), Новосибирское (22 км), Горьковское (16 км) водохранилища.

Глубина водохранилищ изменяется от 10 до 100 м и более, наибольшую глубину имеют Братское (100 м), Мингечаурское (67 м), Куйбышевское (40 м), Нурекское, Токтогульское, Ингурское и другие водохранилища [13] будут иметь глубину 150—300 м.

В ближайшие 15—20 лет площадь водохранилищ превысит площадь естественных пресноводных внутренних водоемов, объем водохранилищ будет равен летне-зимнему меженному стоку (1400—1200 км³) [1].

Колебания уровней равнинных водохранилищ чаще не превышают 6—8 м, в горных водохранилищах они могут достигать 50—90 м. Высота волны зависит от размеров и глубины водохранилища, а также от ветрового режима, она колеблется от 0,4 (Усть-Каменогорское) до 3,5 м (Куйбышевское). Водохранилища и их берега служат ареной проявления большого комплекса геодинамических процессов и явлений, что подробно рассматривается ниже.

Каналы

В целях создания оптимальных условий поверхностного стока, улучшения внутренних судоходных путей, снабжения водой промышленности и сельского хозяйства на территории страны построено большое число искусственных рек — каналов. Они подразделяются на энергетические, судоходные, ирригационные, осушительные, рыбоводные, водопроводные, лесосплавные и комбинированные. На мелководных акваториях морей устраиваются подводные каналы для прохода морских судов (Ленинград, Ильичевск, Астрахань, Рига, Феодосия, Таганрог и др.). До революции в России общая протяженность искусственных водных путей составляла 2,5 тыс. км (не считая оросительных), из них собственно каналов — 700 км и шлюзованных рек — 1,8 тыс. км. Общая протяженность каналов в настоящее время превышает 350 тыс. км, в том числе крупных магистральных — более 80 тыс. км. Они несут 90 млрд. м³ воды.

Из крупных каналов следует назвать Каракумский (800 км), при завершении строительства его длина составит 1445 км. Большой Ферганский (350 км), Терские обводнительно-оросительные (690 км), Беломорско-Балтийский (227 км), канал им. Москвы (128 км), Волго-Донской (101 км) и др.

С эксплуатацией каналов связаны такие геологические процессы, как эрозия, осадкообразование, фильтрация, подтопление, заболачивание, оползни, обвалы и др.

Моря

В морях и океанах изменяются уровенный режим, глубина, течения, береговая линия, состав воды, процессы седиментации, флора и фауна. В последние десятилетия усилилось загрязнение морей за счет загрязнений атмосферы, рек, прилегающих, побережий, а также в результате судоходства, подводной добычи полезных ископаемых и пр. Главными загрязнителями служат реки.

Загрязнение наблюдается в замкнутых (Каспийское, Аральское и пр.) и полузамкнутых морях (Балтийское, Средиземное и др.), где отсутствует или ослаблена связь с Мировым океаном.

Многие моря мира превратились в огромные коллекторы сточных вод, в «помойные ямы». В них поступают в больших количествах неочищенные промышленные, коммунальные стоки, нефть и нефтепродукты, тяжелые металлы, пестициды, радиоактивные и другие токсические компоненты. В связи с загрязнениями гибнет и исчезает морская фауна и флора, им на смену приходят низшие примитивные организмы.

Ежегодно в море поступает до 10—12 млн. т нефти, из них 50—90% попадает с суши, остальная часть за счет судов и морских нефтепромыслов. Каждая капля нефти отравляет 1 м^3 чистой воды, 1 т нефти способна покрыть 1,2 тыс. га водной поверхности, а 5 млн. т. — 60 млн. км^2.

Внутренние моря Японии настолько отравлены промышленными отходами, что там почти полностью вымерла фауна (кроме медуз). Загрязнение морских вод в районе крупных городов и промышленных центров Японии возросло за три года в 15 раз (1973 г.), содержание вредных соединений в 5—10 раз превышает ПДК (1975 г.).

В СССР наибольшая антропогенное изменение претерпели Каспийское, Азовское, Аральское и местами Балтийское и Черное моря.

Уровень Каспийского моря с 1930 г. понизился на 3 м, площадь водного зеркала уменьшилась на десятки тысяч квадратных километров. Вода отступила от берегов местами на 20—60 км. Изменился режим осадкообразования и гранулометрический состав осадков. Понижение уровня моря отразилось на состоянии рыбной промышленности, на условиях судоходства, потребовало перестройки портов.

Наряду с влиянием климатических факторов большая роль в изменении режима Каспия принадлежит деятельности человека. Изменен водный баланс, уменьшился сток рек примерно на 20% (Волги, Урала, Куры. Терека и др.) за счет больших расходов воды на орошение, техническое и питьевое водоснабжение городов и поселков в связи со строительством каскада плотин и водохранилищ, расширением посевных площадей, снегозадержанием на полях.

глубокой вспашкой, созданием многочисленных прудов, вырубкой лесов на территории бассейна и т. п.

Предложено несколько проектов регулирования уровенного режима Каспийского моря: переброска вод северных рек европейской части СССР, переброска вод сибирских рек, устройство плотины в проливе для регулирования перетока воды из Каспия в залив Кара-Богаз-Гол, сооружение в море дамбы для поднятия уровня на 2 м в северной части и др.

В 1968 г. принято решение об оздоровлении Каспийского моря, о превращении северной части Каспия вместе с дельтами Волги и Урала в заповедник с использованием их только в рыбопромысловых и транспортных целях.

Большую тревогу вызывает судьба Аральского моря, которое занимает по размерам четвертое место в мире среди замкнутых водоемов. Это море служит природным регулятором климата, режима подземных вод, поставщиком ценных пород рыб, имеет транспортное значение.

За последние 10 лет уровень моря снизился почти на 3 м, увеличилась соленость воды. Это связано с уменьшением стока Амударьи и Сырдарьи, чему способствовал большой расход речных вод на сельскохозяйственное, промышленное и городское водоснабжение. Развитие хлопководства, освоение пустынных земель потребовало широкого развития ирригационной сети.

Понижение уровня моря наносит большой ущерб народному хозяйству, резко сократился улов и естественное воспроизводство рыбы. Для спасения Аральского моря предлагаются проекты переброски части стока сибирских рек, увеличения притока возвратных вод из оросительных систем, переброски воды из искусственно образовавшихся озерных впадин (Арнасайская Сарыкамышская) и др.

Некоторые специалисты считают экономически более выгодным полнее использовать сток Амударьи и Сырдарьи, а усыхание Арала и постепенное превращение его в соляную пустыню – неизбежным явлением.

В опасности находится Балтийское море, на берегах которого расположено 60 крупных городов (СССР, ГДР, ФРГ, Швеции, Дании, Польши и Финляндии) и проживает 140 млн. человек. Из-за недостаточной связи с океаном Балтийское море весьма чувствительно к антропогенным воздействиям (морские воды полностью обновляются в течение двадцати лет).

В море впадает около 200 рек. Ежегодно сбрасывается около 700 км^3 осадков и речных стоков. В последние годы загрязнение моря достигло угрожающих размеров. Установлено сверхнормативное загрязнение до глубины 100 м биологическими и химическими компонентами, нефтью, тяжелыми металлами, ДДТ, фенолами, сероводородом и др. Сокращается биологическая продуктивность моря. Заражается и гибнет рыба, истощаются рыбные запасы, понижается рекреационная ценность побережий, пляжей, морских курортов. Несколько лет назад с помощью зондов на глубине 70 м обнаружено 250 видов живых организмов, теперь их только 30.

Рыба, пойманная в прибрежных водах Дании, Швеции и Финляндии, содержала ртуть и другие ядовитые тяжелые металлы, в связи с чем для рыбной ловли были закрыты большие районы. В целях охраны и оздоровления Балтийского моря в 1974 г

балтийскими странами при участии СССР подписана конвенция по охране морской среды района Балтийского моря.

Мировой океан

Мировой океан включает Тихий, Атлантический, Индийский и Северный Ледовитый океаны, суммарная поверхность его составляет 361 059 тыс. км². Он служит планетарным коллектором сточных вод, всех загрязнений.

В Мировой океан ежегодно поступает 420 км³ сточных вод, а всего естественных вод, загрязненных сточными, — более 6000 км³ [127], до 10—12 млн. т нефти. Около 60% мировой добычи нефти (почти 2 млрд. т в год) перевозится судами, в связи с чем вынужденные выпуски нефти (аварии танкеров, утечки и пр.) в океан составляют до 1 млн. т.

В настоящее время около 20% нефти добывается в море. Это тоже один из источников загрязнения океана нефтью. Она разливается тонкой пленкой, затрудняет газообмен, поступление кислорода. Наиболее концентрированные поля загрязнений океана, как показывают аэрофотосъемки и космические исследования, приурочены преимущественно к устьям рек, промышленно-урбанизированным побережьям, причем такие поля распространяются на значительные расстояния от берегов и довольно устойчивы, особенно там, где загрязнение преобладает над процессами самоочищения.

Наиболее опасны для экологии океана такие компоненты, как нефть, нефтепродукты, соединения тяжелых металлов и ядохимикаты. Загрязнение Атлантического океана более чем в три раза превышает загрязнение Тихого океана. Особенно сильно загрязнено побережье Атлантического океана вдоль береговой линии США. Более 665 тыс. квадратных миль воды в этом районе загрязнено химикатами. От загрязнения морей нефтью ежегодно гибнет 200 тыс. морских птиц.

Тур Хейердал сообщал, что при плавании на «Кон-Тики» более 20 лет назад его восхищала изумрудная чистота Атлантического океана, а при переходе океана на лодке из папируса «Ра» он и его коллеги наблюдали в центральной части океана на протяжении 1400 миль нефтяную пленку и на всем расстоянии от Африки до Америки мусор и грязь. Исследования канадского судна в 1972 г. в районах Тихого океана подтвердили наличие здесь нефтепродуктов и пластиковых отходов, причем максимальные концентрации зафиксированы в восточной части океана.

Существенное значение имеет выпадение в океан аэрозолей из атмосферы, радиоактивные загрязнения от ядерных взрывов, подводного захоронения радиоактивных отходов и др. Борьба с загрязнением океана международная проблема. В 1972 г. была принята международная конвенция по запрещению загрязнения морских вод сбросами отходов и другими веществами, которую подписал и Советский Союз. Большое значение имеет предложенная Советским Союзом программа глобальной системы исследований загрязнений вод Мирового океана.

Последствия антропогенного изменения гидросферы, борьба за ее оздоровление

Отрицательные последствия деградации поверхностной гидросферы весьма значительны. Ядовитые за-

грязнения разносятся течениями рек, морей и океанов и принимают глобальный характер. Установлена массовая гибель рыбы, морских птиц и млекопитающих. Загрязнение токсическими веществами продуктов питания, которые дают реки, озера и моря, вызывают заболевания у людей и животных. В Японии появились новые болезни «минамата» и «итай-итай» (отравление ртутью и кадмием), в связи с тем что в Минамате на дне залива погребено 800 кг ртути. Залив мертв, опасен всему живому. В 1970 г. в 33 штатах США и 8 провинциях Канады обнаружено опасное количество ртути в рыбе, различных животных и в водоемах. В сельском хозяйстве США ежегодно применяется 400 тыс. кг ртути как составная часть распылителей для борьбы с вредителями и сорняками.

В непроточных водоемах стал быстро развиваться процесс эвтрофирования, т. е. роста водорослей, планктона и др. в связи с привносом фосфатов в составе сточных вод, моющих фосфатных средств, фекальных отходов и т. п. Эвтрофирование ухудшает состав воды, приводит к деградации фауны и флоры в водоемах, к их гибели. «Умирают» Женевское озеро, оз. Эри (США) и др.

Весьма опасны радиоактивные загрязнения, они устойчивы и разносятся морскими и океаническими течениями, рыбами, птицами, судами на тысячи километров.

Увеличение радиоактивного заражения Мирового океана вызвали испытания ядерного оружия в 1954 г. американцами в атолле Бикини (Маршалловы острова) и англичанами на о. Рождества. Через четыре месяца после атомного взрыва в атолле Бикини радиоактивность морской воды на расстоянии 2300 км в 3 раза превысила обычную. Через 13 месяцев воды с повышенной радиоактивностью занимали площадь около 3,5 млн. км². В 1956 г. наблюдался планктон с превышением радиоактивности в 500 раз, а в отдельных случаях — в 50 тыс. раз. У берегов Японии в 1954—1957 гг. радиоактивность возросла в 6 раз, были закрыты некоторые рыбные промыслы. Тунцы, выловленные у берегов Японии на расстоянии 3—4 тыс. миль от атолла Бикини, через шесть — восемь месяцев после взрыва имели повышенную радиоактивность. После испытания Францией атомной бомбы в Сахаре в 1960 г. воздушные массы с радиоактивными элементами появились в бассейне Средиземного моря, а через три дня они достигли побережья Крыма [99]. В связи с этим Советский Союз на XXX сессии ООН в 1975 г. выступил с предложением о запрещении испытаний и производства ядерного оружия. Опасны и недопустимы подводные захоронения отходов радиоактивного производства.

С изменением состояния поверхностной гидросферы связаны значительные изменения природной геологической среды и развитие широкого комплекса современных геологических процессов и явлений. Перестраиваются экология среды, ландшафты. Особенно интенсивно изменяется окружающая среда в результате создания антропогенной гидрографической сети (водохранилищ, прудов, каналов, озер, болот), регулирования речного стока и осуществления крупных воднохозяйственных мероприятий (ирригация, осушение и пр.). Изменяются климат, растительность, почвы, рельеф, подземные воды, состояние грунтов; происходят затопление, подтопление, заболачивание местности; возникают эрозия, абразия, переформирование

берегов, оползни, обвалы, суффозия, карст, просадки, засоление, рассоление, набухание грунтов и многие другие геодинамические процессы, осложняющие строительное и хозяйственное освоение территорий.

Забота об охране водных богатств в России проявлялась еще в далекие времена. Интересен Указ Петра Первого от 1 июля 1719 года, который гласил: «Кто осквернит Неву отбросами или другими нечистотами, тот будет приговорен к избиению кнутом или к ссылке в Сибирь».

Только в советское время и особенно в последние годы стали широко осуществляться водоохранные мероприятия. Задачи в этой области определены в Программе КПСС, в «Основах водного законодательства Союза ССР и союзных республик» (1970 г.), в постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов» (1972 г.).

Кроме того, Центральным Комитетом КПСС и Советом Министров СССР приняты постановления по ряду конкретных вопросов, а именно: «О мерах по предотвращению загрязнения бассейнов рек Волги и Урала неочищенными сточными водами» (1972 г.), «О дополнительных мерах по обеспечению рационального использования и сохранению природных богатств бассейна озера Байкал» (1971 г.), «О мерах по предотвращению загрязнения бассейнов Черного и Азовского морей» (1976 г.) и др.

В стране построены тысячи сооружений по очистке сточных вод, широко внедряется система оборотного водоснабжения, сокращения промстоков, извлечения и утилизации примесей из промышленных стоков, безводная технология производства, использование сточных вод для орошения земель, аэрация и закачка кислорода в водоемы, улавливание плавающих предметов и сбор нефтяной пленки специальными механизмами и т. п. В бассейне Волги 99% судов Центрального и Северо-Западного пароходства оборудовано системами для очистки выкачиваемых вод, загрязненных в результате работы двигателей. Строятся новые танкеры с двойным дном. Усилены санитарный надзор и наказания за нарушения санитарного режима.

Улучшено санитарное состояние многих водоемов страны. СССР сотрудничает в международных организациях по охране Балтийского, Черного, Средиземного морей, Мирового океана и ресурсов пресных вод.

Главные пути улучшения гидросферы: сокращение и в дальнейшем полное прекращение сброса неочищенных сточных вод в водоемы, дистилляция и утилизация стоков, опреснение морской воды, регулирование поверхностного стока водохранилищами, каналами, улучшение водообеспеченности, импорт — экспорт вод, сокращение расхода воды на единицу продукции, максимальное внедрение безводной технологии производства, усиление оздоровительных функций природных факторов, взаимосвязанных с гидросферой.

РЕЛЬЕФ

Рельеф поверхности Земли также является важнейшим компонентом геологической среды. Наш век характеризуется интенсивным воздействием человека на состояние рельефа планеты. В эпохи палеолита и неолита антропогенные изменения рельефа были незначительными. Они до-

стигли максимума в современную эпоху в связи с развитием добывающей и обрабатывающей промышленности, земледелия, со строительством городов, дорог, гидротехнических, энергетических, военно-инженерных и других сооружений.

В результате многовековой и многообразной хозяйственной и инженерно-строительной деятельности человек, изменяя лик Земли, изменял рельеф, непрерывно приспосабливая его к своим потребностям. Добыча и переработка полезных ископаемых, осуществление различных видов строительства и благоустройства сопровождаются перемещением и накоплением на поверхности Земли огромных масс горных пород и отходов производства, что отражается на состоянии рельефа.

По новейшим данным ежегодно извлекается из недр при добыче полезных ископаемых, осуществлении строительства и других видов деятельности человека не менее 100 млрд. т горных пород [157].

Состояние земной поверхности преобразуется вследствие геологической деятельности человека, изменения им состояния земной коры, в результате развития многообразных геологических процессов и явлений антропогенного типа.

Человек — могучий преобразователь рельефа. Воздействия человека на рельеф исключительно многообразны, они связаны с различными видами его деятельности. В табл. 2 дается систематика антропогенных изменений современного рельефа.

Прямые воздействия на рельеф включают искусственное понижение и повышение отметок поверхности земли. Косвенные воздействия связаны главным образом с антропогенно-природными и антропогенными геологическими рельефообразующими процессами и явлениями.

В комплексе рельефообразующих факторов большая роль принадлежит экзогеодинамическим процессам и явлениям. Человек в одних случаях усиливает, в других — ослабляет их действие. Автор выделяет три категории экзогенных рельефообразующих процессов и явлений по степени участия в их формировании деятельности человека.

Природные рельефообразующие процессы и явления, не испытывающие влияния деятельности человека (экзогенные процессы, не затронутые техносферой).

Природно-антропогенные рельефообразующие процессы и явления, количественно и качественно измененные деятельностью человека (абразия, эрозия, оползни, сели, карст, дефляция и др.).

Антропогенные рельефообразующие процессы и явления, возникновение и развитие которых полностью вызвано деятельностью человека (антропогенные осадки, просадки, провалы, оползни, сели, карст, эрозия, переработка берегов водохранилищ, суффозия, морозное пучение, ледяные бугры, выпирание, пучение пород, солифлюкция, осадкообразование в искусственных водоемах и др.).

Под целенаправленными понимаются управляемые воздействия, осуществляемые при различных видах строительства, благоустройства и хозяйственного освоения территории. Стихийные воздействия — это неуправляемые и нерегулируемые воздействия. Примером могут служить стихийное накопление культурного слоя, образование мульд проседания в зоне подземных пожаров и т. п. Резонансные воздействия и изменения рельефа являются следствием

ТАБЛИЦА 2

СИСТЕМАТИКА АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СОВРЕМЕННОГО РЕЛЬЕФА

Основные направления в изменении рельефа	Уничтожение малых форм рельефа Расчленение рельефа Перевод некоторых отрицательных форм в погребенное состояние Создание новых форм антропогенного микро-и мезорельефа Повышение отметок поверхности земли Понижение отметок поверхности земли Общее нивелирование неровностей рельефа
Виды воздействий на рельеф	Прямые и косвенные Целенаправленные, стихийные и резонансные Местные, крупноплощадные, региональные и глобальные Кратковременные, длительные и вековые
Классы антропогенных геологических рельефообразующих процессов и явлений	Антропогенный литогенез Процессы и явления, вызванные изменением: термического режима пород и подземных вод, режима подземных вод, обводненности и влажности пород, напряженного состояния пород в массиве, поверхностной гидросферы
Антропогенные воздействия и факторы, вызывающие понижение отметок поверхности земли	Срезка возвышений, уступов, выполаживание, террасирование склонов в связи с вертикальной планировкой местности, строительством и благоустройством Устройство долговременных выемок (карьеров, дорожных прорезей, рвов, траншей, каналов, копаных прудов и др.) Искусственное расширение речных русел Термогенные просадки и провалы поверхности, вызванные прогревом, обжигом и плавлением пород (ПГУ, подземные пожары, термическая мелиорация и пр.) Термогенные просадки и провалы поверхности, вызванные оттаиванием мерзлых пород (термокарст. термопросадки, солифлюкция) Образование мульд оседания над депрессиями подземных вод Осседание поверхности земли дегидратационно-транспирационного происхождения Просадки лёссовых и других пород, вызванные замачиванием Антропогенный карст с образованием карстового рельефа Антропогенная суффозия с проседанием поверхности земли, образованием воронок и провалов Оседание поверхности земли, вызванное добычей нефти и газа Проседание поверхности земли на подрабатываемых территориях Образование мульд оседания над тоннелями и подземными станциями метро Проседание поверхности земли над деформирующимися подземными сооружениями (подземные города, предприятия, хранилища, автодороги, катакомбы. пещеры, мины и пр.) Формирование сотообразных чаш оседания в основании городов под действием нагрузок. Оседание поверхности земли под действием динамических нагрузок Денудация рельефа, вызванная переработкой берегов водохранилищ, каналов, а также антропогенной плоскостной и линейной эрозией

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 2

	Денудация рельефа, вызванная антропогенными оползнями, обвалами, селями и др. Денудация рельефа, вызванная активизацией природных экзогеодинамических рельефообразующих процессов и явлений в результате деятельности человека
Антропогенные воздействия и факторы, вызывающие повышение отметок поверхности земли	Искусственное целенаправленное повышение отметок в связи со строительством, благоустройством и хозяйственным освоением территорий (насыпи, рефулирование) Складирование грунтовых отвалов из подземных и поверхностных выработок (терриконы, пульпохранилища, хвостохранилища, грунтовые свалки) Складирование промышленных, строительных и хозяйственных отходов Возведение долговременных земляных сооружении (городища, курганы, дамбы, валы, плотины, дорожные насыпи и др.) Стихийное накопление субаэральных антропогенных отложений (культурные слои) Поднятие поверхности, вызванное промерзанием пород и подземных вод (морозное пучение, ледяные бугры и др.) Гидратационное набухание глинистых пород в связи с искусственным увлажнением Гравитационный выпор пород Образование куполов выпирания на газовых месторождениях в связи с прорывом и внутрипластовой миграцией газа

осуществления строительной и хозяйственной деятельности. Например, образование карстовых долин, провалов и воронок на соляных промыслах, где добыча соли производится способом подземного выщелачивания, или образование мульд проседания и провалов на подрабатываемых территориях, эксплуатируемых месторождениях нефти, газа и т. п.

Перечисленные в табл. 2 изменения рельефа могут достигать значительной величины.

Повышение отметок рельефа

Целенаправленное повышение отметок связано с вертикальной планировкой, благоустройством местности, перемещением горных пород при добыче полезных ископаемых, твердых отходов производства и быта, возведением долговременных земляных сооружений и пр.

Регулируемое площадное повышение отметок местности с использованием насыпных и намывных грунтов для защиты низких побережий от затопления, для строительных и хозяйственных целей и для благоустройства территорий получило широкое распространение.

Мощность искусственных террас изменяется от 1 до 15 м, намывных песчаных массивов составляет чаще 2—8 м. Рефулированием намыты большие площади в СССР и в зарубежных странах (США, Япония, Англия, Нидерланды и др.).

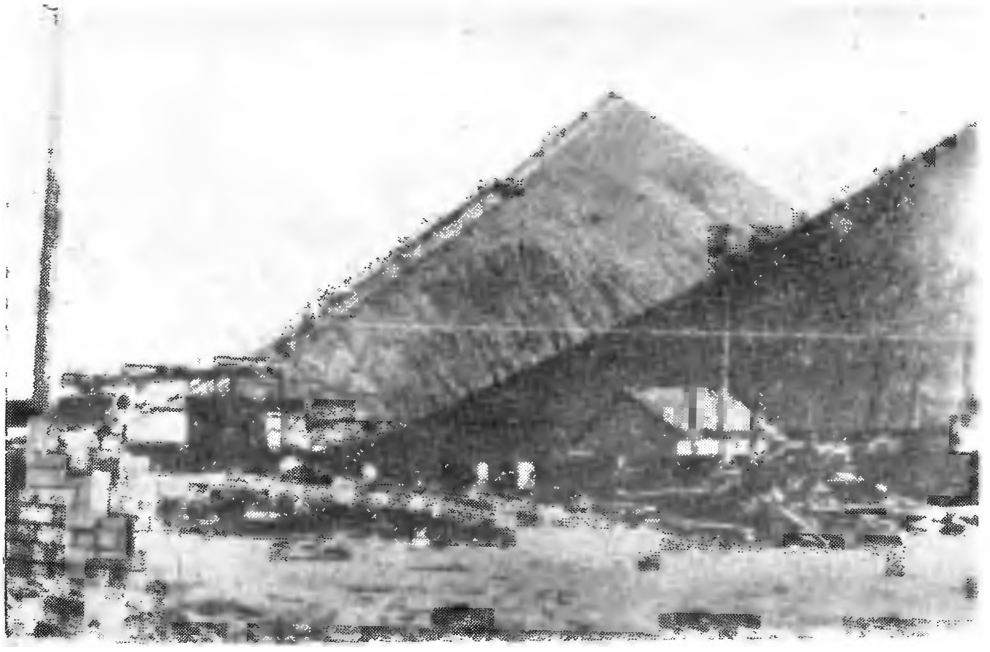
Почти 40% территории Нидерландов лежит ниже уровня моря. Как известно, это страна, отвоеванная у моря. Залив Зёйдер-Зе целиком был превращен в сушу.

Изменяется ландшафт горнопромышленных районов. на этих территориях сформировался холмистый рельеф антропогенного типа (терриконы, гряды из горных отвалов и др.). В терриконах складируются миллиарды тонн горных пород и шлака. Терриконы распространены в Донбассе, Кузбассе, Кривом Роге, Воркуте и других горнопромышленных районах страны. Форма терриконов чаще коническая, реже плоская, высота их в СССР достигает 60 -100 м и более, диаметр в основании 200—300 м, углы откоса 30—45°. В Уэльсе (Англия) высота отдельных терриконов достигает 300 м, во Флориде (США) — 100 м. Только в Донбассе насчитывается более 1300 терриконов. В ряде городов (Донецк, Горловка, Макеевка, Ворошиловград, Красный Луч, Шахты, Красноармейск, Новошахтинск, Караганда и др.) терриконы составляют часть городского ландшафта. На рис. 3 показан общий вид терриконов.

Грядово-холмистый антропогенный рельеф формируется за счет отвалов вскрышных пород, извлекаемых из открытых горных выемок. Мощность отвалов колеблется в широких пределах и достигает 100—150 м.

Рельеф местности изменяется также в результате засыпки речек, ручьев, оврагов балок, озер и болот. Этот процесс уничтожения малых отрицательных форм рельефа в целях строительного, хозяйственного освоения и благоустройства территорий развит повсеместно. Мощность засыпки составляет 3—50 м.

РИС. 3.
Терриконы Донбасса



В Москве, например, засыпано более 100 км долин рек и ручьев, засыпана и снивелирована преобладающая часть оврагов, старичных озер и болот, с искусственным повышением отметок в пределах от 1 до 22 м.

На городской территории Киева существовало около 50 оврагов глубиной до 55 м. Значительная часть городской застройки расположена на сдренированных и засыпных оврагах, в том числе центральная улица Крещатик. Мощность насыпных грунтов в засыпных оврагах Киева достигает 44 м (Байковые овраги).

Антропогенный микрорельеф дополняется различного рода искусственными земляными насыпными и намывными сооружениями, имеющими по площади и высоте различные размеры. Высота земляных плотин, дамб, дорожных насыпей, древних оборонительных валов, курганов, насыпных городищ колеблется от 1 до 50 м, иногда и более, протяжение — от 50 до 10 000 м и более.

Сохранились остатки древних грандиозных по протяженности засечных оборонительных линий с земляными валами и рвами, которые сооружались с оборонительной целью. Большая часть их создана в XVI—XVII вв. Около г. Тамбова сохранились остатки вала высотой 4—5 м, основанием 12—14 м, перед валом расположены два рва глубиной 1—1,5 м.

Известны древние знаменитые Змиевые валы оборонительного значения, простиравшиеся на сотни и даже тысячи километров на территории Украины и Молдавии. Они представляли собой сложную систему многочисленных валов и рвов.

Высота насыпных валов достигала 16 м, наклон до 45°. Археологи предполагают, что сооружали их десятки и сотни тысяч людей. Это оборонительная система, защищавшая огромные пространства лесостепи от набегов кочевников. Возраст валов одни ученые датируют VII—V вв. до н. э., другие относят к эпохе средневековья, полагая, что валы и рвы построила Киевская Русь. На рис. 4 показаны линии расположения Змиевых валов по карте В. Б. Антоновича (1895 г.), на рис. 5 — общий вид вала. Подобные оборонительные сооружения строили римляне, древние германцы, авары, западные славяне [9, 10].

В Киеве хорошо сохранились древние военно-крепостные валы и бас-

---

РИС. 4.

Линии древних Змиевых валов на карте В. Б. Антоновича (1895 г.).

1 — городища; *2* — поселения; *3* — железные дороги; *4* — шоссейные дороги; *5* — линии Змиевых валов; *6* — болота

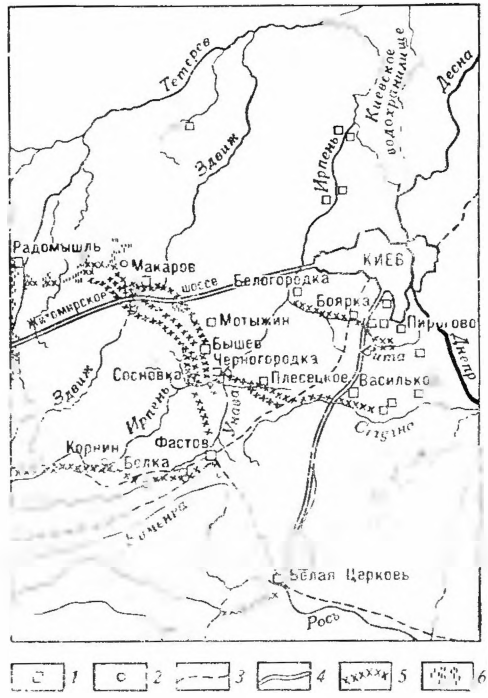


РИС. 5.
Общий вид древних Змиевых валов

тионы петровского времени начала XVIII в. в районе Печерска, Выдубецкого монастыря и в других местах высотой от 4 до 15 м и более. Валы хорошо вписались в планировку и застройку города.

В ряде районов после второй мировой войны сохранилось очень много положительных форм микрорельефа: противотанковые валы. доты, дзоты, брустверы, землянки и т. п., образующие военный микроландшафт.

Суммарное протяжение в СССР дорожных насыпей высотой 5—30 м, построенных при пересечении пониженных форм рельефа, составляет сотни тысяч километров. Возведено большое число водозащитных земляных дамб. В Нидерландах их протяженность превышает 1000 км, в низовьях Миссисипи — 2500 км, на р. Тиссе в Венгрии — около 3500 км.

В СССР строительство водозащитных дамб расширилось в связи с освоением пойменных террас и созданием равнинных водохранилищ.

В антропогенном микрорельефе большое место занимают курганы — могильники. По форме они напоминают холмы высотой от 3 до 20 м, встречаются во многих странах мира в различных природных зонах, в СССР чаще в степном и лесостепном ландшафте. Возраст курганов колеблется от тысячелетий (бронзовый век) до сотен лет. Это древние захоронения людей, обычно с домашней утварью и орудиями труда. Встречаются сторожевые курганы.

В ряде районов страны встречаются огромные скопления курганов, например. в Подмосковье по берегам р. Пахры только на участке

от г. Подольска до устья реки обнаружено 500 курганов высотой 3 м, на Днепре в Гнездовской группе на площади 2 км² — 2500 курганов, в Курской области на р. Пеле — около 4000.

Повышение отметок поверхности земли связано, кроме того, со стихийным процессом накопления культурного слоя в местах поселений человека. В городах мира мощность культурных слоев колеблется от 0,5 до 35 м и более. Чем крупнее и древнее город, тем больше их мощность. Процесс формирования культурного слоя на территории г. Москвы, Киева и других городов подробно рассмотрен в работах [58. 78].

Понижение отметок рельефа

Как показывает табл. 2, понижения отметок поверхности земли антропогенного типа весьма разнообразны. В больших масштабах проводятся срезки рельефа в связи с вертикальной планировкой при строительстве городов, поселков, транспортных, гидротехнических, горных, военных и других сооружений. Срезаются горы, холмы, террасовые уступы, дюны, барханы, бугры, береговые линии и другие положительные формы рельефа. Величина срезок достигает 50 м и более. Масштабы срезок колоссальны, особенно в районах с горным и предгорным рельефом (Кавказ, Крым, Карпаты, Средняя Азия и др.).

Значительно понижаются отметки при устройстве долговременных выемок. Среди них широко распространены карьеры (добыча полезных ископаемых открытым способом в среднем достигла 70%). По мере развития горной техники увеличиваются размеры карьеров. Глубина их достигает 300—800 м, проектируются карьеры глубиной до 1000 м, протяженность карьерных полей составляет 2—5 км. К крупным карьерам в СССР относятся Коркинский угольный на Урале (глубина более 350 м, проектная — 520 м), Сарбайский железорудный в Казахстане будет иметь глубину 630 м и размеры 2,12 × × 2,26 км. В Черемхове глубина угольных карьеров до 200 м, добыча руды на горе Благодать на Урале производится на глубине 800 м [145], глубина карьеров на КМА — 100—180 м, а в перспективе — до 300—500 м. В районе Кавказских минеральных вод в 40 карьерах разрабатывался строительный камень, в результате чего исчезла гора Острая, почти полностью разработана гора Кинжал, уничтожена половина горы Медовой около г. Железноводска, изуродована гора Змейка.

Поверхность земли изрезана густой сетью каналов, суммарная протяженность которых в СССР превышает 350 тыс. км. Естественный рельеф изменяется большим числом (десятки тысяч) копаных прудов.

Широко распространены дорожные выемки, суммарная протяженность которых при огромной сети дорог в СССР исчисляется тысячами километров. Глубины выемок изменяются от 1 до 50 м и более. В Киеве при устройстве автострады была срезана оползневая Черная гора высотой более 20 м.

Понижение отметок рельефа косвенно связано с проявлениями серии антропогенных геологических процессов и явлений (см. табл. 2). Приведем некоторые цифры понижения поверхности земли, вызванные этими процессами.

Антропогенные оползневые смещения достигают 40—50 м, карстовые просадки — 5—15 м (Славянск, Но-

вый Карфаген и др.), антропогенная эрозия — 30—50 м; просадки на подрабатываемых территориях — 1—5 м и более, провалы — до 70 м; на участках подземной газификации углей — 0,3—3 м (Подмосковный бассейн), в отдельных случаях до 15 м (Кузбасс); оседание поверхности земли под действием статических и динамических нагрузок — от 0,01 до 6 м. Массовые просадки лёссовых грунтов составляют 0,2—3 м.

Оседание под влиянием длительных откачек подземных вод составляет в Москве 0,35 м, Лондоне — 0,3 м, Осаке — 2,2 м, Делано — 3 м, Токио — 3,5 м, Мехико — 9 м, в результате извлечения из недр нефти и газа — 7,6 м (Лонг-Бич, США). Площадь мульд оседания колеблется от долей квадратного километра до 3500 км² и более.

В рельефе сохранились следы войн XX в. в виде воронок, рвов, траншей, окопов, щелей и других понижений. Они исчисляются миллиардами и сформировали специфический военный ландшафт местности.

По данным М. И. Хазанова [157], при инженерной подготовке европейских театров военных действий в первую и вторую мировые войны объем выемок и перемещений грунта составил несколько миллиардов кубических метров.

Только во Вьетнаме в результате американских бомбардировок земля изрыта 20 миллионами воронок диаметром от 20 до 50 футов и глубиной 5—20 футов.

Итак, воздействия человека основательно трансформировали природный рельеф. Если учесть максимальные понижения (800 м) и повышения (300 м) в рельефе, амплитуда изменения отметок достигает 1100 м. Весьма значительны изменения рельефа и по площади. Анализ воздействий человека позволяет считать его важнейшим фактором антропогенного преобразования лика Земли, активным трансформатором природного рельефа.

В ходе антропогенной эволюции рельефа можно отметить следующие закономерности: а) общее нивелирование рельефа, уменьшение разницы высот; б) постепенное исчезновение естественного микрорельефа; в) стирание геоморфологических граней на поверхности земли (уступов, террас и др.); г) развитие отрицательных и положительных форм микрорельефа; д) процесс повышения отметок поверхности преобладает над процессом понижения главным образом за счет извлечения из недр на поверхность земли огромных масс пород и накопления отходов производства и быта. Антропогенные изменения рельефа оказывают влияние на развитие многих взаимосвязанных экзогеодинамических процессов и явлений.

Многие из указанных выше антропогенных рельефопреобразующих процессов и явлений имеют широкое региональное распространение [65]. При анализе современных неотектонических движений очень важно отличать антропогенные изменения рельефа, особенно опускания и поднятия поверхности земли, вызванные антропогенными геологическими процессами и явлениями, от природных.

Более подробно антропогенные изменения рельефа освещены в работах [58, 62, 78, 79].

КЛИМАТ

Климат — важнейший компонент природной среды. Он взаимосвязан с другими компонентами природы: с одной стороны, зависит от них, с другой — оказывает на них влия-

ние. Изучая антропогенные изменения природной геологической среды, нельзя не учитывать изменения климата.

Изменения климата оказывают влияние на состояние верхнего слоя грунтов, на поверхностные и подземные воды, развитие многих геологических процессов (карст, оползни, заболачивание и др.).

Все современные геодинамические процессы и явления, подверженные климатической зональности, испытывают влияние антропогенных изменений климата, что сказывается в преобразовании их характера, направленности и интенсивности.

Климатические условия изменяются в связи с антропогенным изменением климатообразующих факторов. К важнейшим из них, формирующим многолетний режим погоды, относятся приход и расход солнечной энергии, атмосферная циркуляция, вертикальный тепло- и влагообмен в атмосфере и взаимодействие тепла и влаги в системе атмосфера подстилающая поверхность.

Человек, преобразуя природный ландшафт, изменяет естественную климатическую обстановку.

Климат является весьма динамичным элементом природной среды, он чутко реагирует на воздействия антропогенных факторов. Под влиянием деятельности человека изменяются микро-, мезо- и макроклимат, в наибольшей степени первые два. Антропогенные факторы, влияющие на климат, исключительно разнообразны, как и разнообразна деятельность человека. Среди многообразия антропогенных климатоизменяющих факторов можно выделить две основные группы: 1) факторы, влияющие на состояние и динамику атмосферы, 2) факторы, влияющие на состояние подстилающей поверхности.

Изменение микро- и мезоклимата

Под микроклиматом понимают климатические явления, происходящие в приземном слое воздуха (1,5—2 м над поверхностью земли) и обусловленные состоянием подстилающей деятельной поверхности на сравнительно небольших участках.

Микроклиматические различия формируются в узкоместных условиях и определяются разнообразием элементов природного и антропогенного ландшафта (гора, холм, балка, овраг, долина, река, озеро, пруд, болото, сквер, бульвар, парк, сад, огород, улица, площадь, двор и т. п.).

Для приземного слоя, по данным С. А. Сапожниковой [135], характерны исключительно большие вертикальные градиенты температуры, ветра и влажности. Состояние его имеет большое практическое значение, так как в нем протекает бо́льшая часть деятельности человека, здесь произрастают растения. Приземной слой наиболее доступен воздействию человека, поэтому микроклимат очень часто приобретает антропогенный генезис.

Мезоклимат занимает промежуточное положение между микро- и макроклиматом. В литературе он часто называется местным климатом, характерным для площадей и объектов более крупного масштаба (местный климат градопромышленной агломерации, города, крупного водохранилища, лесных посадок, сельскохозяйственных полей, массивов ирригации, осушения и т. п.), где активная роль в формировании климата принадлежит местным факторам.

Мезоклимат, или местный климат, проявляется, согласно С. А. Сапожниковой [135], в слое воздуха, измеряемом десятками и сотнями мет-

ров. В литературе нередко микро- и мезоклимат объединяют и рассматривают как микроклимат. Антропогенный микро- и мезоклимат формируется под влиянием искусственного изменения окружающей среды, с которой он находится в тесной взаимосвязи.

Изменения общего радиационного баланса. Антропогенному воздействию наиболее подвержены прямая солнечная радиация и радиационные свойства деятельной поверхности, им принадлежит основная роль в общем радиационном балансе. Лучистая энергия солнца при поглощении ее активной поверхностью преобразуется в тепловую.

Загрязнение атмосферы снижает ее прозрачность и уменьшает прямую солнечную радиацию вследствие поглощения ее аэрозольными взвесями. Уменьшение прямой радиации колеблется в пределах от 1 до 50% и более. В связи с этим ухудшается солнечная освещенность, на Землю поступает меньше тепла.

Большая роль в аккумулировании радиации и формировании теплового режима принадлежит альбедо, т. е. отражательной способности различных поверхностей. Ниже приведены величины коэффициента отражения некоторых поверхностей, по данным С. А. Сапожниковой [135]:

Поверхнос	Альбедо
Снег свежевыпавший	85
Снег загрязненный и талый	40
Оголенная почва светлая (кварцевый песок, лёсс)	35
То же, темная, сухая	15
» , влажная	10
» , свежевспаханная	5
Трава светлая, злаки в период созревания	25
Трава темная, злаки в первые фазы развития	20
Заросли ягодных кустарников (брусники)	10
Лес лиственный	20
Лес еловый	10—15
Вода (для прямой радиации) при высоте солнца 45°	5
То же, при 15°	20
» , при 5°	55

Изменение температуры воздуха и поверхности земли. Антропогенные воздействия на окружающую среду повышают или понижают ее температуру, причем антропогенный процесс повышения температуры преобладает.

Факторы и условия, повышающие температуру воздуха и грунтов, весьма многочисленны, поэтому ниже только перечислим их с небольшими пояснениями:

— увеличение в составе атмосферы углекислого газа, который свободно пропускает лучистую энергию солнца, но несколько задерживает отраженные тепловые лучи, что повышает температуру Земли (действие «парникового эффекта»);

— выделение антропогенного тепла при сжигании различных видов минерального и органического топлива, а также при крупных и длительных пожарах;

— поступление в атмосферу электрической, ядерной и других видов энергии;

— выделение тепла людьми, животными, микроорганизмами. Например, в Лондоне тепло, выделяемое людьми, повышает температуру воздуха на величину около 0,5° С [35];

— сброс горячих и теплых сточных вод;

— повышенная аккумуляция солнечного тепла поверхностями с пониженным альбедо, разогрев неко-

торых поверхностей, которые выполняют роль тепловых аккумуляторов (асфальт, каменные покрытия, стены, железные крыши зданий в летнее время имеют более высокую температуру, достигающую 40—60° С);

– осушение почв и грунтов (сухие грунты лучше нагреваются, особенно летом). Планировочные структуры плотной застройки, затрудняющие ветровой воздухообмен. что способствует нагреванию воздуха. Вырубка лесов. Процесс конденсации паров воздуха, сопровождающийся выделением тепла.

К факторам и условиям, понижающим температуру, относятся следующие:

— антропогенное запыление атмосферы, препятствующее проникновению тепловых солнечных лучей на поверхность земли;

— искусственное повышение альбедо некоторых поверхностей (например, применение светлых тонов застройки, насаждение определенных видов растений и т. п.);

— искусственное замораживание грунтов и подземных вод. Создание искусственных подземных и наземных мощных холодильников. Озеленение местности (зелень затеняет почву, понижает ее нагревание, расходует часть тепла на испарение; густая и тенистая растительность понижает температуру воздуха утром и вечером на 3—8° С, чаще на 1—2° С; почва, покрытая растительностью, в среднем получает летом тепла меньше на 18%, чем голая почва). Искусственное орошение, поливка улиц, скверов, газонов (температура понижается вследствие затраты тепла на испарение в среднем на 1—5° С). Обводнение территории в летнее время понижает температуру воздуха.

Изменение влажности воздуха. Антропогенные воздействия увеличивают и уменьшают влажность воздуха. Относительная влажность изменяется больше, чем абсолютная. На баланс влажности оказывают влияние температура, выделение влаги растениями, почвами, грунтами, водоемами, людьми, процессы конденсации и пр. Растения служат поставщиками влаги в атмосферу. Вследствие транспирации влажность воздуха в зависимости от видов растений повышается до 10—25%.

Испарение усиливается при повышении температуры, увеличении скорости ветра. Влажность повышается в связи с обводнением территорий, устройством водохранилищ, прудов, каналов и других антропогенных водоемов.

Кроме того, повышение влажности воздуха вызывают орошение земель, поливка улиц, скверов, подтопление, заболачивание территорий, искусственное увлажнение грунтов, выделение людьми паров (в среднем 75 г/ч одним человеком).

Наряду с этим действуют антропогенные факторы, понижающие влажность воздуха. К ним относятся: искусственное уменьшение испаряющей поверхности (застройка, искусственные покрытия), засыпка рек, ручьев, озер, болот, прудов, уничтожение растительности, перевод поверхностного стока в подземный (устройство водосточной сети), осушение местности, снегоуборка, повышение температуры воздуха и др.

Изменение облачности, режима осадков, туманов, ветров. Выпадение осадков усиливается при насыщении воздуха влагой, аэрозолями, ядрами конденсации. При

температурных инверсиях благоприятствуют озеленение, обводнение, орошение. Выпадение осадков уменьшается вследствие вырубки лесов, осушения земель, засыпки рек, озер, прудов и болот и т. п.

Количество туманов увеличивается при запылении атмосферы, которое вызывает процессы конденсации влаги, а также в связи с лесопосадками, искусственным повышением уровня грунтовых вод, заболачиванием, обводнением местности, орошением земель. Формированию туманов препятствует вырубка лесов, осушение почв и грунтов, понижение уровня грунтовых вод, ликвидация водоемов.

Образование облачности связано с режимом влаго- и теплообмена. Ветровой режим обусловлен состоянием подстилающей поверхности и наличием термоградиентов, с которыми связаны местные конвекции воздуха.

Застройка и озеленение местности, лесопосадки препятствуют свободному движению воздуха, уменьшают скорость ветра в нижней части атмосферы до 100—150 раз и более.

Особенности местного климата городов

Климат города отличается от климата прилегающей местности, и чем крупнее и индустриальнее город, тем сильнее выражены различия. Город со всей своей сложной материальной частью и разносторонней жизнедеятельностью активно преобразует окружающую среду и естественную климатическую обстановку, в результате чего помимо разнообразных микроклиматов формируется общий, так называемый местный климат для города в целом. Местный климат городского типа имеет свои закономерности формирования и специфические черты. Обычно город изменяет климат в направлении повышения температуры воздуха, увеличения осадков, туманов, помутнения атмосферы, уменьшения солнечной радиации, влажности воздуха.

В табл. 3 указаны антропогенные факторы и условия и направленность их влияния на климат города. Климат в городе и его окрестностях отличается в такой степени, какая наблюдается для пунктов, отстоящих друг от друга по широте на 20°.

Разность абсолютных температур воздуха в городе и его окрестностях составляет (в °С): Баку — 5, Москве — 8, Ленинграде — 7—10 (ночью до 16). Разность среднегодовой температуры в городе и за его пределами составляет (в °С): Париже — 0,8, Берлине — 0,5, Вене — 0,5, Ленинграде — 0,6, Киеве — 0,3, Москве — 1,4—2,0, Харькове — 1,0—1,5, Воркуте — 1,3. Увеличение размеров города и численности населения увеличивает среднегодовую температуру воздуха: в городах с населением от 100 до 500 тыс. человек — в среднем на 1° С, от 500 до 1000 тыс. человек — на 1,1—1,2° С и более 1000 тыс. человек — на 1,3—1,5° С по сравнению с окружающей местностью [119].

Поскольку в городах теплее, чем в окрестностях, там безморозный период продолжительнее, раньше сходит снег, наступает весна и зацветают растения.

В приземном слое на высоте до 50 см формируется «детский климат». При летней температуре воздуха 25—30° С температура над асфальтом повышается до 40—45° С. Маленькие дети страдают от перегрева организма. От неблагоприят-

ТАБЛИЦА 3

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ И УСЛОВИЙ НА КЛИМАТ ГОРОДА

Факторы и условия	Солнечная радиация	Температура воздуха	Относительная влажность воздуха	Атмосферные осадки	Туманы	Движение воздуха	Глубина промерзания грунтов
Увеличение застройки	—	+	—				—
Рост населения		+	+				—
Искусственные покрытия		+	—				+—
Планировка города		+—				+—	+—
Запыление атмосферы	—	—	+	+			+—
Увеличение в атмосфере CO_2	—	+					—
Производственное и хозяйственное тепловыделение		+	—			+	—
Уничтожение растительности	+	+	—	—	—	+	+
Озеленение	—	—	+	+	+	—	—
Засыпка речек, ручьев, озер, прудов, болот			—	—	—	—	—
Обводнение территории		— (летом) + (зимой)	+	+	+	+	—
Орошение		—	+	+			—
Поливка улиц, скверов, газонов и пр.		—	+				
Регулирование поверхностного стока (водостоки)		+	+	—			
Снегоуборка	+	—	—	—			+
Подтопление		—	+				—
Заболачивание		—	+	+			—
Осушение		+	—	—	+		+
Преобладающее изменение	—	+	—	+	+	—	—

Примечание. Знак «+» обозначает повышение значения показателя климата, знак «—» — понижение значения, знаки «+—» — различное воздействие

ных климатических условий в штате Сент-Луис (США) в 1960 г. в связи с перегревом умерло 246 человек.

Влажность воздуха в городах обычно понижена, воздух суше, чем в сельской местности. Это обусловлено сокращением испаряющей поверхности земли в связи с застройкой и искусственными покрытиями, уничтожением естественного растительного покрова (растения повышают относительную влажность в среднем на 20%), сбором и отводом дождевых и снеговых вод в водостоки, ликвидацией мелких водоемов и др. В городе в среднем испаряется только одна треть осадков.

Над многими городами повышена облачность. Атмосферных осадков в городах выпадает больше, чем в окрестностях, в среднем на 10—15%; например, в Москве — на 11%, в городах США — на 10%. Число дней

с осадками в городах увеличивается в среднем на 10% летом и на 20% зимой.

Изучению климата городов стало уделяться большое внимание. Формируется новое научное направление — городская климатология. В 1973 г. в Москве была проведена междуведомственная научно-техническая конференция «Климат — город — человек», где были подведены итоги, намечены перспективы изучения климата городов и даны соответствующие рекомендации. Итоги конференции опубликованы в ряде сборников. Изменение городом климата на примере Москвы и Киева освещены в работах [62, 78].

Местный климат крупных водохранилищ

Создание в природном ландшафте крупных антропогенных водоемов не могло не отразиться на климатических условиях местности. Наличие больших масс воды, которая имеет высокую теплоемкость и пониженное альбедо, оказывает влияние на формирование местных климатических условий. Вода в водохранилищах медленнее нагревается и медленнее остывает, интенсивно испаряется, увлажняя воздух, гладкая поверхность водохранилища активизирует ветровой режим. Вследствие этих метеорологических особенностей водохранилища являются регуляторами местного климата.

Водохранилища сглаживают колебания суточных и сезонных температур и смягчают климат прилегающей территории. Выделяют отепляющий и охлаждающий периоды термического воздействия на окружающую среду. Первый, когда повышается температура воздуха, характерен для второй половины лета и осени; второй, когда понижается температура в береговой зоне, наблюдается весной и в первой половине лета.

Вблизи водохранилищ летом прохладнее, глубокой осенью теплее, удлиняется безморозный период. В зоне влияния водохранилищ наблюдается более высокая абсолютная и относительная влажность. Скорости ветра в зоне водохранилищ повышены, летом в 1,5—1,8 раза. С наличием температурного градиента в термическом режиме водоема и суши связано образование бризов.

Радиус влияния водохранилищ на местный климат зависит от прилегающего ландшафта. В степных и равнинных условиях он наибольший и достигает 10—20 км, в горных условиях — минимальный.

Местный климат искусственных лесных насаждений

Лесоразведение оказывает благоприятное влияние на местный климат. Лесопосадки и озеленение территорий сокращают прямую солнечную радиацию. Густые кроны деревьев почти полностью задерживают солнечные лучи, поглощают и рассеивают их и тем самым уменьшают поступление тепла на землю.

Наличие леса сглаживает суточные и сезонные колебания температуры и удлиняет безморозный период. Лес повышает влажность воздуха, понижает испаряемость, вдвое уменьшает запыленность воздуха, поглощает углекислоту, выделяет кислород, антисептические фитонциды, улучшает состояние атмосферы.

Велико водоохранное значение леса. Леса — копилка влаги. В лесах скапливается снег, снежный покров

держится дольше на две-четыре недели, чем в поле, тает медленнее, в результате чего уменьшается поверхностный сток (не превышает 15—20% от суммы осадков), увеличивается инфильтрация снеговых и дождевых вод, усиливается питание грунтовых вод, улучшается водоснабжение растительности. Лесная подстилка предохраняет лесную почву от промерзания и улучшает влагооборот. Лес ослабляет ветры и этим препятствует сдуванию снега, образованию пыльных бурь.

Мелиоративная эффективность лесных насаждений зависит от видового состава деревьев, биоценозов, зонально-климатических условий местности.

Изменение макроклимата

В геологической истории Земли неоднократно происходила глобальная смена климата. Известны ледниковые и межледниковые периоды в докембрии, палеозое, мезозое и кайнозое. Появилась гипотеза о новом похолодании климата Земли, начавшемся во второй половине XX в., и о приближении на нашей планете нового оледенения. Некоторые советские ученые (А. П. Виноградов и др.) склонны связывать наступившее похолодание с увеличением запыленности атмосферы Земли.

В атмосферу поступает из космоса пыли около 1 млн. т/год, вулканической пыли, которая держится годами, — $4 \cdot 10^6$ т/год, а техногенной пыли, сохраняющейся около месяца, — примерно в 250 раз больше (около $2 \cdot 10^7$ т/год). Пыль, рассеивая лучистую энергию Солнца, вызывает похолодание, действуя как «экран», препятствующий проникновению солнечных лучей на поверхность земли [167].

Источниками техногенной пыли служат аэрозольные выбросы промышленных объектов, сжигание топлива, антропогенная дефляция, пыльные бури, пожары, дорожная пыль, атомные взрывы и др. М. И. Будыко связывает снижение средней температуры воздуха за последние 30 лет на 0,3° С с увеличением запыленности атмосферы.

Уменьшение поступления солнечного тепла лишь на 1% может вызвать резкое похолодание.

Человечество служит мощным источником тепловой энергии, которая в огромных количествах выделяется при сжигании различных видов топлива, при эксплуатации гидроэнергетических, термоядерных и других видов природных ресурсов. Сам человек отдает в окружающую среду немало тепловой энергии. Так, за одни сутки взрослый человек при полном покое выделяет тепла столько, что его хватило бы для подогрева на 1° С около 3 т воды или до температуры кипения примерно 30 л.

Человек «отапливает» планету. По подсчетам М. И. Будыко, если ежегодный прирост производства энергии составит 10%, то меньше чем через 100 лет антропогенная тепловая энергия превзойдет величину естественной лучистой энергии Солнца, а при приросте на 4% (современный прирост) это произойдет через 150 лет [11].

От сжигания топлива ежегодно выбрасывается в атмосферу 23 млрд. т углекислого газа. Вырубка $^1/_2$ площади лесов на планете сказалась на балансе углекислоты. Одно дерево с диаметром кроны, равным 4 м, выделяет углекислого газа 10—20 г в сутки. Растения не успевают поглощать добавочную углекислоту. Содержание CO_2 в воздухе тесно свя-

зано с состоянием растительного покрова.

За последние 30 лет выброс в атмосферу CO_2 возрос в 2—3 раза. Если размеры поступления сохранятся, то содержание CO_2 в атмосфере удвоится через 150 лет, что может повысить температуру атмосферы планеты на 2° С [84].

В перспективе прогнозируется потепление климата. Разные исследователи предсказывают различные масштабы потепления, например, Н. Н. Семенов полагает, что максимально допустимое увеличение средней температуры планеты составит 3—4° С, однако не все ученые с этим согласны.

По данным Е. К. Федорова, выделение промышленного тепла составляет в настоящее время около 0,01% от солнечного тепла. Через 50—60 лет оно возрастет до 1—2%, что приведет к повышению средней температуры нижнего слоя атмосферы в среднем на всей Земле на 1—2° С. По расчетам Г. Пласса, к 2000 г. вследствие сжигания топлива и увеличения CO_2 температура земной поверхности повысится на 2° С [84].

Антропогенные изменения альбедо Земли также оказывают влияние на тепловой баланс планеты. Чем больше альбедо. тем холоднее атмосфера Земли.

В настоящее время охлаждающее влияние запыленности атмосферы различными аэрозолями, по-видимому, преобладает над утепляющим влиянием CO_2.

В ближайшие десятилетия кризисных ситуаций в связи с изменением климата планеты не ожидается. Некоторые климатологи считают, что антропогенные факторы оказывают незначительное влияние на изменение климата планеты.

Основные закономерности антропогенного изменения климата и их геологическое значение

Антропогенные изменения в наибольшей степени коснулись микро- и мезоклимата. Вместе с тем появились предвестники глобального и крупнорегионального изменения климата.

Климат Земли в настоящее время соответствует климату межледникового периода. С конца 70-х годов прошлого столетия до середины XX в., по данным некоторых исследователей, наблюдалось потепление на Земле и повышение температуры в среднем на 0,6 С. С 50-х годов XX в. наступил этап медленного похолодания, выразившийся в понижении температуры в среднем на 0,4 С. Появились гипотезы о наступившем переходе нашей планеты к новому ледниковому периоду. Однако явление похолодания некоторые ученые (А. П. Виноградов и др.) склонны объяснять запыленностью атмосферы, вследствие чего Земля стала меньше получать солнечного тепла. В общем балансе запыленности атмосферы Земли, в котором участвует космическая и вулканогенная пыль, преобладающее значение принадлежит аэрозолям антропогенного происхождения (антропогенной пыли).

Наряду с охлаждением медленно, но неуклонно идет противоположный процесс — разогрев Земли, потепление климата. Этот процесс «тормозит» похолодание, ограничивает его масштабы, и в перспективе, по всем прогнозным данным, превзойдет его и приведет к глобальному повышению температуры Земли. Этот вывод основан на многих фактических данных, которые указаны выше.

Изменяется альбедо Земли в направлении понижения отражательных радиационных свойств активной поверхности, и в связи с этим повышается температура. Факторами понижения общего альбедо Земли служат потемнение поверхности европейских и североамериканских ледников, связанное с осаждением сажи и копоти из загрязненной атмосферы, потемнение снежного покрова на огромных пространствах вблизи промышленных центров (снижение альбедо на 40%). Распашка новых земель, увеличение площади пахоты (альбедо свежевспаханной почвы — 5%), лесоразведение, озеленение, обводнение территорий, урбанизация, агломерирование и многие другие изменения лика Земли сопровождаются понижением альбедо и повышением температуры. Количественные прогнозы потепления климата Земли к концу века неоднозначны.

По предсказанию различных ученых, величина повышения температуры колеблется в диапазоне от 1 до 2 и даже до 4° С. Эти прогнозы в настоящее время уточняются с учетом реальных возможностей регулировать глобальную температуру Земли.

С изменением климата связано изменение геологической среды: грунтов, подземных вод, современных геологических процессов. Значительное влияние на геологическую среду оказывают антропогенные особенности местного (мезо-) климата: городов, крупных водохранилищ, лесов, сельскохозяйственных угодий, массивов орошения, осушения и др.

Процессы повышения и понижения температуры воздуха изменяют термический режим грунтов в верхней зоне воздействия сезонных и годовых температур. Повышение температуры грунтов летом понижает их влажность, в связи с чем уменьшается коэффициент консистенции и повышается механическая прочность глинистых грунтов. Повышение температуры зимой уменьшает глубину промерзания Изменяется влажностный режим грунтов в связи с колебаниями влажности воздуха, количества атмосферных осадков. Наблюдаемое многообразие состояния и физико-механических свойств грунтов отчасти связано с различиями микро- и мезоклимата. Изменение таких параметров климата, как температура и атмосферные осадки, оказывает влияние на режим поверхностных и подземных вод. Увеличение безморозного периода благоприятствует инфильтрации атмосферных осадков и питанию грунтовых вод.

Антропогенные изменения климата преобразуют геодинамическую обстановку, активизируют многие современные геологические процессы и явления. Подробнее это освещается в соответствующих главах.

Рассмотрим вопрос о геологических последствиях глобального изменения климата. С процессом похолодания Земли можно ожидать увеличение площади морских и континентальных льдов, уменьшение речного стока, понижение уровня морей и Мирового океана, развитие засухи. Глобальное потепление климата может вызвать очень серьезные последствия: таяние льдов Арктики и Антарктиды, морских льдов, горных ледников, повышение уровня Мирового океана на 50—60 м, сокращение площади суши примерно на 10%, затопление огромных низинных пространств, важнейших экономических районов, всех портов мирового значения. Около $^1/_3$ пресной воды, заключенной во льдах, станет соленой, сократится площадь

распространения многолетней мерзлоты.

Некоторые геофизики высказывают гипотезу изменения эндогенных геологических процессов, полагая, что исчезновение мощного ледяного покрова вызовет перераспределение гравитационных нагрузок, изменит напряженное состояние земной коры, отразится на величине угла наклона земной оси и скорости вращения Земли. Это повысит тектоническую активность планеты, усилит горообразовательные процессы, землетрясения, извержения вулканов и другие геологические явления [84]. Возникает новая проблема возможного оттока избыточного тепла Земли в космос.

В СССР разрабатываются научные основы управления климатом. Практически пока достигнуты некоторые успехи в мелиорации лишь микроклимата и местного климата.

Освоено применение установок и технических средств местного значения для искусственного дождя, рассеивания облаков, туманов, защиты территорий от града, улучшается микроклимат путем облесения, обводнения, осушения местности и с использованием других климатомелиоративных мероприятий. Формируется новое научное направление — мелиоративная климатология. Расширяется международное сотрудничество по данной проблеме.

ПОДЗЕМНАЯ ГИДРОСФЕРА

Подземная гидросфера чутко реагирует на внешние воздействия, на изменения окружающей среды. Антропогенные воздействия на подземную гидросферу проникают на глубину до 6—8 км, чаще проявляются в интервале 1—100 м. по простиранию они охватывают почти половину площади планеты. Человек изменяет условия питания, стока, разгрузки, уровенный и температурный режим и химико-бактериологический состав подземных вод.

С преобразованием подземной гидросферы связано изменение гидростатических и гидродинамических напряжений в земной коре, физико-механических свойств грунтов и развитие специфического комплекса антропогенных геологических процессов.

На естественном режиме подземной гидросферы наиболее интенсивно сказываются такие виды деятельности человека, как подземная и открытая добыча полезных ископаемых, отбор подземных вод для питьевого, технического, хозяйственного и лечебного водоснабжения, ирригация, осушение территорий, регулирование речного стока, агролесомелиоративные мероприятия, промышленное и гражданское строительство.

Ежегодно в СССР извлекается из недр на разные цели до 15 млрд. м^3 подземных вод [145]. Около 25% общего водопотребления городов и городских поселков основано на использовании подземных вод.

Нередко гидрогеологическая обстановка изменяется коренным образом исчезают и появляются новые водоносные горизонты, формируются качественно новые типы подземных вод: а) ирригационные воды, б) верховодка и местные водоносные горизонты, возникающие вследствие фильтрации воды из водохранилищ, прудов, каналов и утечек технических и хозяйственных вод; в) горизонты нефтяных вод, образующиеся при замещении выкачиваемой нефти водой; г) смешанные воды нескольких гидрохимических фаций в

рудниках при разработке полезных ископаемых, д) магазинированные воды и т. п.

В результате деятельности человека образуются зоны подпора (до 100 м), депрессии (чаще до 300 м и более), перемещаются области питания и разгрузки, пути фильтрации вод, нарушается сложившееся взаимодействие гидрографической сети и подземных вод. Подземные воды столь сильно загрязняются, что перестают служить источником водоснабжения.

Важно различать вековые, многолетние и кратковременные изменения подземных вод, а также естественные и искусственно измененные гидрогеологические параметры, используемые в расчетах и прогнозах.

Естественный режим сменяется искусственным, неустановившимся режимом подземных вод. Выделяются такие типы антропогенного режима подземных вод, как городской, горнодобывающий, нефтепромысловый, ирригационный, мелиоративного осушения, водохранилищный, прикапальный и др.

В связи с изменением естественного режима преобразуется баланс подземных вод. Статьи прихода и расхода в балансовом уравнении $x + y + z = a + b + c$ количественно изменяются. Например, для города характерно уменьшение атмосферного питания x, увеличение конденсации влаги под зданиями и сооружениями y, возможно увеличение притока воды извне z и поверхностного стока a, уменьшение испарения b и неоднозначное изменение подземного стока c.

В комплексе антропогенных изменений подземной гидросферы наибольшее распространение и народнохозяйственное значение имеют три процесса: а) понижение уровня подземных вод и формирование в связи с этим депрессионных воронок; б) повышение уровня грунтовых вод; в) изменение химического и температурного режима, загрязнение подземных вод.

Понижение уровня подземных вод

На понижение уровня подземных вод оказывают влияние следующие антропогенные факторы:

1) длительные эксплуатационные откачки для питьевого, технического и хозяйственного водоснабжения;

2) эксплуатация минеральных, термальных и технических вод;

3) откачки и водоотлив при добыче полезных ископаемых и проведении горных работ;

4) попутное извлечение вод при добыче нефти;

5) откачки и водоотлив при проведении строительных работ;

6) мелиоративное осушение местности и грунтов, применение открытых и закрытых дренажных систем;

7) искусственное уменьшение речных паводков;

8) уменьшение инфильтрации атмосферных осадков на 30—70% за счет застройки территорий, применения водонепроницаемых покрытий, снегоуборки, устройства водостоков, вырубки лесов;

9) ликвидация поверхностных водоемов.

Таким образом, понижение уровня подземных вод в основном обусловлено как извлечением вод из недр, так и уменьшением поступлений воды в водоносные горизонты.

Наблюдаются водопонижения местные и региональные, временные, долговременные и вековые. Процесс векового понижения уровня грун-

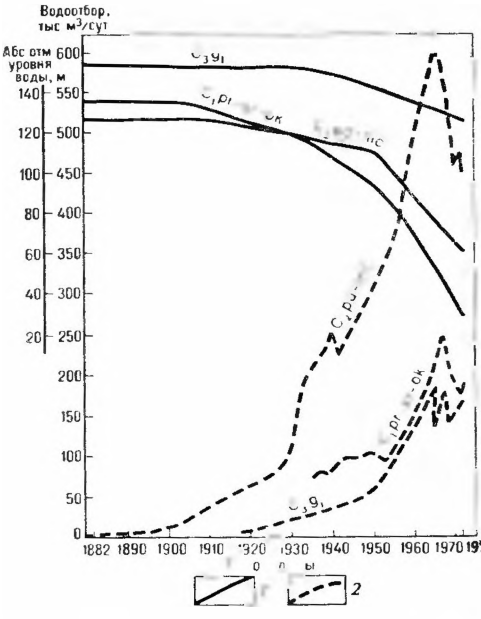


РИС. 6.
Графики колебаний водоотбора и пьезометрических уровней (по В. И. Просенкову).
1 — пьезометрический уровень; *2* — водоотбор

товых вод проявляется в некоторых крупных и древних городах. Так, в Москве вековое понижение горизонта грунтовых вод фиксируется по древним колодцам, в настоящее время сухим, на дне которых найдены кувшины, монеты и другие археологические предметы. Вековое понижение уровня подземных вод связано с вырубкой лесов, застройкой территорий и эксплуатацией вод. С древних времен грунтовые воды в Москве широко использовались для водоснабжения: например, в 1830 г. в городе эксплуатировалось 4813 колодцев [59].

Почти во всех крупных городах и промышленных центрах СССР и зарубежных стран, где проводят длительные и интенсивные эксплуатационные и производственные откачки подземных вод, сформировались депрессионные воронки. Размеры их различны, диаметр достигает десятков и сотен километров, глубина — десятков и даже сотен метров.

Наиболее крупные депрессионные воронки площадью в несколько сотен и тысяч квадратных километров установлены в Донбассе, на Северо-Уральских бокситовых рудниках, КМА, в районе Белоозерского железорудного месторождения, в московской, ленинградской и других агломерациях. Значительное водопонижение связано с эксплуатацией и осушением глубоко залегающих напорных водоносных горизонтов артезианских бассейнов (Парижский, Лондонский, Московский, Днепровско-Донецкий). В крупных городах глубина депрессионных воронок колеблется от 5 до 300 м и более.

В Москве, по расчетам автора, в 1960 г. из недр извлекалось воды 325 тыс. м³/сут. В 1974 г., по подсчетам В. И. Просенкова [122], водоотбор только из водоносных горизонтов C_2 и C_1 в Москве с учетом пригородов составлял 900 тыс. м³/сут, а в пределах московской агломерации — 2,8 млн. м³/сут. С увеличением водоотбора расширялись и углублялись депрессионные воронки (рис. 6). Пьезометрические уровни к 1974 г. снизились в C_2 на 70—80 м, в C_1 — до 110 м, радиус воронки увеличился в C_2 до 50 км, в C_1 — до 70 км. Среднее многолетнее снижение уровня составляет до 3—5 м в год. На фоне большой региональной Московской депрессии вокруг групповых водозаборов сформировалось несколько местных депрессий. Неоднородное падение напоров в водоносных горизонтах вызвало вертикальное перетекание вод, оживление карстово-суффозионного процесса.

В районе Ленинграда пьезометрический уровень в гдовском артезианском горизонте снизился на 80 м, радиус депрессионной воронки увеличился до 50 км, площадь до 16 тыс. км^2.

В Киеве уровень в юрском водоносном горизонте снизился на 65 м, в сеноманском — на 68 м и более.

Под влиянием длительных откачек сформировались депрессионные воронки также в Брянске, Курске, Белгороде, Орле, Пензе, Смоленске, Донецке, Горловке, Краснодаре, Одессе, Херсоне, Керчи, Феодосии, Баку и во многих других городах.

Крупные депрессионные воронки наблюдаются во многих городах за рубежом (Париж, Берлин, Лондон, Милан, Венеция, Токио, Осака, Амагасаки, Нагойя, Мехико, Делано и др.). Например, в Лондоне пьезометрический уровень в меловом горизонте снизился более чем на 100 м, в связи с чем уменьшились дебиты родников, скважин, расходы рек Ли, Крэй и Дарнет — притоков Темзы, произошло загрязнение подземных вод и инверсия солоноватых вод (эстуария).

Еще бо́льших размеров депрессии достигают в районах добычи полезных ископаемых (угля, железа, нефти и др.), на обширных полях ирригации, где подземные воды используются для орошения и т. п. В отдельных угольных бассейнах при добыче угля подземным способом истощается целый комплекс водоносных горизонтов на глубину до 1000 м и более, диаметры депрессионных поверхностей измеряются сотнями километров.

В Донбассе из 300 шахт ежесуточно откачивается 500 тыс. м^3 воды. При добыче угля на глубинах до 1100 м здесь сдренированы откачками многие водоносные горизонты, в результате чего сформировались огромная зона аэрации и мощная кора выветривания.

На территории Курской магнитной аномалии при добыче железной руды в глубоких карьерах и шахтах ведутся мощные откачки из скважин и водоотлив из горных выработок. На территории КМА действует до 4 тыс. водозаборных скважин с суммарным дебитом 14 м^3/с, или 1,2 млн. м^3/сут. В связи с водоотбором и добычей руды открытым способом сформировались депрессионные воронки в Лебединском, Южно-Лебединском, Стойленском, Михайловском и других карьерах. Глубина воронок составляет 35—250 м, радиус 10—30 м и более. Диаметр депрессионных воронок в связи с разработкой Яковлевского и Гостищевского месторождений прогнозируется к 2000 г. более 150 км, глубина 300—440 м.

На территории Североуральских бокситовых месторождений (СУБР) вследствие добычи руд в закарстованном массиве карбонатных пород уровень подземных вод снизился в отдельных районах на 140—180 м и 200—320 м [29].

Водоотлив здесь вызвал весьма интенсивные карстово-суффозионные процессы, образование большого количества провальных воронок [29].

При добыче нефти извлекается много воды и снижаются уровни. На Апшероне при среднесуточной добыче нефти в количестве 0,1—41 т на одну скважину попутных вод извлекается 0,2—115 т. В результате откачек уровни воды за 10 лет снизились на несколько сотен метров, пластовое давление — на величину до $(30—100)\cdot10^5$ Па.

Повышение уровня подземных вод

К антропогенным факторам, вызывающим повышение уровня подземных вод, относятся устройство водохранилищ, каналов, прудов, ирригация, магазинирование подземных вод. внутриконтурное и законтурное заводнение нефтяных месторождений, утечки воды с полей фильтрации, из подземных резервуаров, сетей водопровода, теплосети, водостоков, канализации и др., снегозадержание, устройство свалок снега в городах, спуск в грунты технических и хозяйственных вод, искусственные поливы, уничтожение естественных дрен, понижение водопроводимости пород под действием статических нагрузок, барражирующее влияние подземных сооружений, конденсация влаги под зданиями, насыпями, оседание земной поверхности, антропогенный тепловлагообмен, пристенные скопления вод (в пазухах), под фундаментами и др.

Величина повышения уровня в результате указанных причин колеблется в пределах от 0,5 до 100 м и более, но чаще не превышает 10—15 м. Максимальное повышение уровня подземных вод наблюдается в зоне влияния горных водохранилищ (60—100 м и более).

С повышением уровня связано широко распространенное подтопление застроенных территорий. Оно возникает там, где в результате деятельности человека изменен баланс подземных вод в направлении уменьшения расходных и увеличения приходных составляющих.

Подтоплению наиболее подвержены слабо дренируемые территории, расположенные на плоских водораздельных пространствах и низменностях со слабо развитой эрозионной сетью, сверху сложенные мелкодисперсными грунтами с пониженными фильтрационными свойствами и слабой водоотдачей, анизотропной водопроводимостью (лёссовые грунты, у которых вертикальная проницаемость выше горизонтальной). Такие территории характеризуются неглубоким залеганием уровня подземных вод и региональных водоупоров, малым модулем подземного стока, небольшим уклоном, застойным гидродинамическим режимом. К ним также относятся районы современных тектонических опусканий и др. Подтопление стало принимать в ряде районов страны региональное распространение.

Подтопление имело место и раньше, но активно стало проявляться в последние 30—40 лет. Развитие этого процесса коррелируется со скачком в урбанизации и индустриализации страны, с огромным размахом нового строительства, увеличением числа промышленных предприятий с большим потреблением воды, увеличением водопотребления, а следовательно, и водосброса, расширением системы подземных водонесущих коммуникаций, антропогенной гидрографической сети, регулированием режима рек и т. п.

Процесс подтопления нельзя объяснять только утечками технических и хозяйственных вод. Как показали исследования ряда специалистов (В. М. Каплан и др.), подтопление наблюдается на объектах с «сухой» технологией, например, на территориях элеваторов, складов и др., где отсутствуют утечки вод. По данным Г. Г. Потлова и Н. Н. Самойловой, из 224 обследованных элеваторов 81 подтопляется грунтовыми водами. Подтопление представляет собой полигенный много

факторный процесс, и комплекс подтопляющих факторов и условий изменяется в зависимости от естественных зонально-климатических и регионально-геологических условий, профиля производства, состояния городского хозяйства и благоустройства территории.

Явление подтопления к настоящему времени, по данным автора, охватило десятки городов и промышленных районов, преимущественно крупных и индустриальных и чаще всего расположенных в южных районах страны и регионах с распространением покрова лёссовых грунтов. Величина подтопления застроенных городских территорий колеблется в пределах от 0,5 до 30 м (сюда не входит повышение уровня в связи с подпором рек, устройством водохранилищ), но чаще составляет 3—10 м. Максимальные повышения уровней грунтовых вод отмечены в Запорожье (30 м), Ростове-на-Дону (20 м), Каменецке (17 м), Одессе (10—15 м), Кривом Роге (18 м), Новочеркасске (12 м), Никополе (10 м), Челябинске (12 м), Новосибирске (12 м), Херсоне (10 м), Сумгаите (8 м), Навои (6 м), Саратове (8 м), Тбилиси (8 м), Баку (6 м), Москве (6 м), Киеве (5 м), Мелитополе (7 м), Ташкенте (4 м) и др.

В некоторых городах повышение горизонта грунтовых вод носит не локальный, а крупноплощадной и региональный характер. В Ташкенте региональный характер повышения уровня грунтовых вод связан с инфильтрацией воды из многочисленных оросительных каналов и арыков.

В Узбекистане подтоплены в связи с орошением площади более 40 городов.

На территории УССР, по данным Г. Я. Гончара, подтопление приняло региональный характер и за последние 15—20 лет охватило 70—75% территории городов юга Украины.

В Одессе наблюдается процесс длительного крупноплощадного повышения уровня четвертичного водоносного горизонта на величину от 1 до 10 м, редко до 15 м, вызванный интенсивными утечками воды из подземных сетей водопровода, канализации (до 25 тыс. м^3/сут), поливами, сбросом сточных вод, конденсацией паров и пр. С этим связано массовое затопление подвалов, и погребов, заболачивание, просадки лёссовых грунтов, провалы поверхности земли, неравномерные осадки и деформации зданий и сооружений и др.

На территории Баку также наблюдается крупноплощадное повышение уровня грунтовых вод на величину от 0,5 до 6 м. Подтопление выявлено при сопоставлении гидрогеологических карт разных лет (1950 и 1969 гг.) и стационарными наблюдениями в режимных скважинах. В 1968 г. в Баку насчитывалось 3818 затопленных подвалов. Некоторые здания в связи с этим деформируются.

Явление подтопления территории Омска иллюстрируется схематическими картами глубин залегания грунтовых вод. На рис. 7, *а* приведена карта уровней в 1937 г. (по данным К. М. Голубенцова), на рис. 7, *б* — карта уровней в 1973 г. (по данным Н. И. Барац). Если в 1937 г. наиболее высокий уровень грунтовых вод (1—2 м) отмечался лишь на отдельных участках, то в 1973 г. он стал преобладающим на территории города.

В зоне влияния крупных равнинных водохранилищ на Волге и Каме полоса повышения уровня грунтовых вод в связи с подпором распространяется на несколько тысяч километров и имеет ширину до 10—20 км.

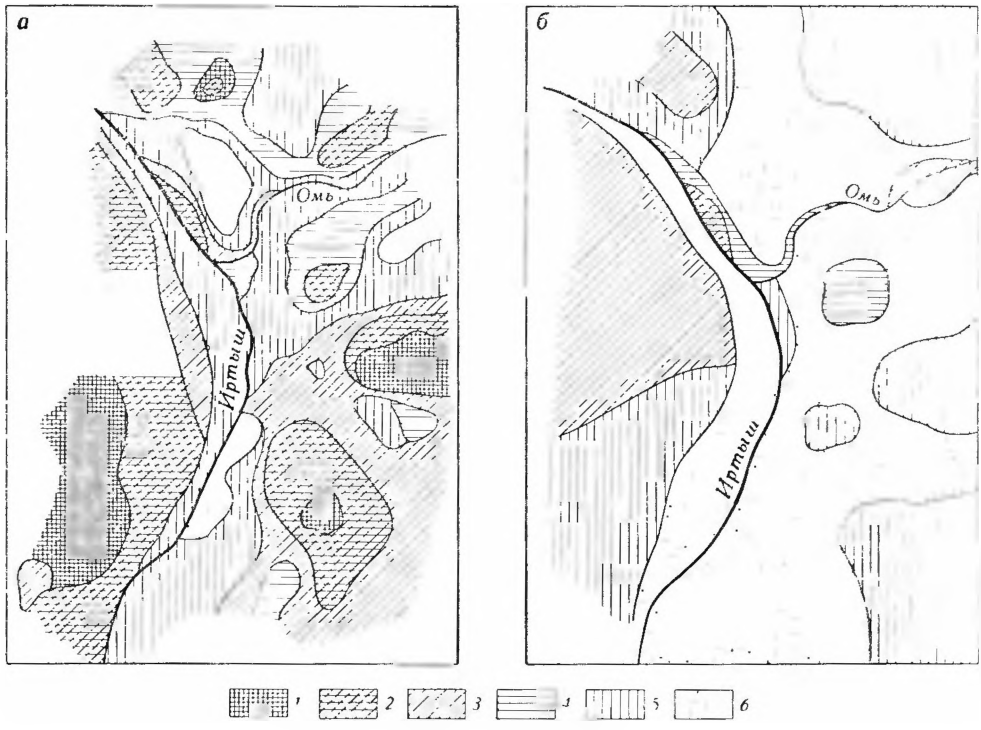


РИС. 7.
Глубина залегания грунтовых вод на территории г. Омска:
а — 1937 г.; *б* — 1973 г.
1 — более 7 м; *2* — 5—7 м; *3* — 4—5 м; *4* — 3—4 м; *5* — 2—3 м; *6* — 1—2 м

По расчетам Н. Н. Биндемана, запасы подземных вод здесь стали исчисляться десятками кубических километров. Это яркий пример регионального характера повышения уровня.

В районе г. Нового Братска в связи с устройством высокой плотины уровень водоносного горизонта в палеозойских песчаниках поднялся более чем на 100 м. Повышение уровня увеличивает запасы подземных вод.

Появилась новая категория «искусственных запасов» подземных вод. Региональное повышение уровня грунтовых вод наблюдается в районах орошаемого земледелия, особенно на древних аллювиальных и приморских равнинах, характеризующихся затрудненным естественным дренажем.

Дополнительный приток ирригационных вод не компенсируется подземным оттоком, в связи с чем происходит повышение уровня грунтовых вод. Например, в Голодной Степи уровень грунтовых вод на глубине менее 2 м наблюдался в 1925 г. на площади 43,3 тыс. га, а в 1968 г. - на площади 284,6 тыс. га, уровень от 2 до 3 м в 1925 г. — на площади 97,0 тыс. га, в 1968 г. — на площади 280,1 тыс. га, уровень на глубине 3 м в 1925 г. — на площади 750.9 тыс. га. в 1968 г. — на

площади 326,5 тыс. га [29]. На орошаемой территории Кура-Араксинской низменности площади с глубиной залегания уровня грунтовых вод от нуля до 3 м в 1951 г. составляли 54,5%, а в 1962 г. уже 80,8% [29]. Эти данные свидетельствуют о подтоплении данных территорий.

Повышение уровня грунтовых вод происходит при магазинировании — искусственном увеличении — ресурсов подземных вод, достигаемом при переводе поверхностного стока в подземный, и повышении инфильтрационного питания водоносных горизонтов.

Изменение химического состава и загрязнение подземных вод

Гидрохимические зоны и фации подземной гидросферы формируются в сложном процессе круговорота воды в природе. Под влиянием деятельности человека гидрохимические изменения происходят не только в приповерхностных водоносных горизонтах, но и в глубинных, залегающих до 8—10 тыс. м от поверхности земли, в связи с эксплуатацией глубоких горизонтов нефти и газа. Подземная гидросфера находится во взаимосвязи с атмосферой, поверхностной гидросферой, биосферой и литосферой и реагирует на антропогенные изменения этих сфер.

Химический состав подземных вод изменяется под влиянием следующих многочисленных антропогенных факторов: загрязнения атмосферы, поверхностных водоемов, снежного покрова, поверхности земли в среде обитания человека, накопления отходов производства и быта (терриконы, свалки, грунтоотвалы и пр.), удобрения почв, применения пестицидов и ядохимикатов, неправильного режима орошения, сопровождающегося увеличением минерализации вод, сброса промышленных и хозяйственно-бытовых стоков (поля фильтрации, пруды-отстойники, накопители, шлаковые пруды, хвостохранилища и др.), подземного захоронения отходов производства, радиоактивного загрязнения среды (влияние ядерных взрывов, радиоактивных отходов и утечек и пр.), солевой мелиорации грунтов, утечки из канализации, нефтепроводов, водопровода (опреснение подземных вод), поглощающих скважин и колодцев, засыпки свалочным материалом рек, ручьев, озер, прудов, стариц, оврагов, балок, карьеров, шахт и т. п.

На химический состав подземных вод влияют антропогенные изменения условий их питания, циркуляции, разгрузки, взаимосвязи водоносных горизонтов и поверхностных, в частности морских вод, перетоки вод из очагов загрязнения, заброшенные скважины и др.

В связи с изменением гидродинамического режима нередко возникают процессы подсоса и проникновения в водоносные горизонты морских, речных, озерных вод, смешение подземных вод различных горизонтов, что сопровождается изменением химизма в разных направлениях. В ряде приморских городов (Рига, Лиепая, Керчь и др.) установлено проникновение морских вод под влиянием откачек и снижения уровня.

Перечисленные выше факторы изменяют состав подземной гидросферы в следующих основных направлениях: 1) повышения минерализации (преобладающий процесс), 2) понижения минерализации под влиянием инфильтрации пресных вод из поверхностных водоемов, утечек воды из водопровода и пр., 3) увеличения

пестроты ионного состава, 4) бактериологического загрязнения, 5) химического загрязнения аномальными, токсическими, вредными соединениями, 6) повышения агрессивности воды в связи с увеличением в ее составе SO_4, CO_2, Mg, понижением pH и др.

Разработаны типизации условий химического загрязнения подземных вод. Заслуживает внимания типизация Е. Л. Минкина, в которой выделено шесть типов загрязнения подземных вод [29].

Ежегодно создается и синтезируется более 500 новых химических соединений, общее число их превысило 1000 000. Некоторые из них ядовиты, не разлагаются естественным путем, проникают в подземные воды.

Наиболее вредно и опасно загрязнение подземных вод радиоактивными (особенно изотопами стронция-90, рубидия-166), канцерогенными (бензопирен и др.) соединениями, нитратами, тензидами, пестицидами, полициклическими ароматическими углеводородами, фенолами, нефтепродуктами, металлами, металлоидами, детергантами (стойкими моющими веществами) и др. 1 л нефти или моющих веществ загрязняет 1 млн. л воды. Отравление содержащимися в водах соединениями ртути и кадмия вызвали новые виды заболеваний человека и животных. Почти не представляется возможным обезвреживать такие опасные яды, как мышьяк, цианиды, селен, ртуть и др.

Наиболее интенсивные гидрохимические изменения и загрязнения подземной гидросферы приурочены к городам, промышленным и горнорудным предприятиям, агроландшафтам, особенно к массивам орошения и др., вместе с тем они контролируются зонально-климатическими и региональными гидрогеологическими условиями.

В условиях холодного климата процессы водообмена и загрязнения несколько замедлены, в аридных районах в связи с высокой испаряемостью усиливается повышение минерализации грунтовых вод.

Наибольшее воздействие антропогенных факторов испытывают приповерхностные водоносные горизонты. Гидрохимические изменения глубинных водоносных горизонтов приурочены к районам добычи нефти, газа, местам захоронений промстоков и расположения глубоких рудников (3—10 км). С глубиной эти изменения уменьшаются. Верхние горизонты грунтовых вод при отсутствии защитного водоупорного перекрытия в наибольшей степени подвержены бактериальному и химическому загрязнению. Однако в крупных городах химические аномалии наблюдаются на значительной глубине.

В Москве в связи с нарушением гидродинамического режима под влиянием вертикальных перетоков подземных вод через заброшенные скважины, гидрогеологические окна и региональные водоупоры образовалась гидрохимическая аномалия площадью 200 км², глубиной до 300 м (табл. 4). Наблюдениями установлен перенос солей сверху вниз — от горизонта сильно загрязненных грунтовых вод к горизонтам верхнего, среднего и нижнего карбона [122].

На изменение гидрохимического режима оказывают влияние природные гидрогеологические факторы и условия.

Отсутствие надежных водоупоров, высокая проницаемость пород, закарстованность, тектоническая раздробленность, наличие тектониче-

ТАБЛИЦА 4

ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ АНОМАЛИИ РАЙОНА МОСКВЫ (по В. И. Просенкову)

Водоносный комплекс	Площадь аномалии, км²	Общая минерализация, г/л: максимальная / минимальная	Общая минерализация, г/л: средняя по площади	Превышение средней по площади минерализации над фоновой, г/л
Четвертично-мезозойский	765	12,00 / 0,30	0,73	0,43
Верхнекаменноугольный	80	0,80 / 0,30	0,55	0,25
Среднекаменноугольный	149	2,0 / 0,30	0,60	0,30
Протвинско-серпуховский	180	1,30 / 0,37	0,60	0,23

ских разломов, активный водообмен, большая водообильность — все это способствует переносу загрязнителей и увеличению ореолов загрязнений.

Сравнительно глубокое залегание подземных вод, наличие водоупоров, повышенные адсорбционные свойства водовмещающих пород, изоляция водоносных горизонтов, от поверхностных водоемов (обычно загрязненных) препятствуют загрязнению подземных вод.

Весьма благоприятным является природный процесс самоочищения подземных вод. Фильтром служат водовмещающие и водоупорные породы. В самоочищении значительная роль принадлежит механическому фильтрованию, микроорганизмам, окислительно-восстановительным, адсорбционным ионообменным, газообменным и другим процессам. Однако процесс загрязнения пока опережает самоочищение вод.

Химический режим подземной гидросферы под влиянием деятельности человека изменяется в той или иной степени на 50% площади всей Земли. В подземную гидросферу поступают загрязнения из атмосферы, поверхностной гидросферы, поверхности земли, почв и недр Земли, поскольку они взаимосвязаны.

Выше показаны масштабы загрязнений атмосферы, почвенного покрова и поверхностной гидросферы. В числе мощных факторов, оказывающих большое влияние на изменение химизма и загрязнение подземных вод, отметим следующие:

— ежегодный выброс в атмосферу Земли огромных масс аэрозолей (2 млрд. т CO_2 и более 1 млрд. т других соединений). Суммарные выбросы достигают 10—20% перерабатываемого сырья;

— перенос солей атмосферными осадками (258 млн. т в год в СССР);

— сброс промышленных и бытовых стоков;

— рассеивание на полях Земли 400 млн. т минеральных удобрений и 4 млн. т ядохимикатов в год в мире;

— орошение и осушение земель (в СССР на площади 25 млн. га);

— засоление грунтовых вод и почво-грунтов на 40% площади орошаемого земледелия мира;

— накопление на поверхности земли промышленно-хозяйственных отходов в количестве $6 \cdot 10^{11}$ т в мире;

— ежегодное перемещение 6 км³ пород при проведении горных и строительных работ, извлечение из недр земли 100 млрд. т полезных ископаемых (25 т на одного человека), с чем связано глобальное рассеивание химических элементов

и перемещение их в подземную гидросферу.

Антропогенные изменения химического состава подземных вод многочисленны. Они весьма подробно освещены в литературе, поэтому здесь ограничимся лишь рассмотрением отдельных примеров.

Весьма интенсивные изменения гидрохимического режима и загрязнения подземных вод установлены в крупных городах и промышленных центрах. Как показали исследования автора, на территории Москвы минерализация грунтовых вод под влиянием загрязняющих факторов, в частности культурного слоя, увеличивается в направлении от окраин к центру города в среднем в 4—5 раз, а в отдельных очагах — в 100—825 раз [62].

Наряду с ростом плотного остатка увеличивается содержание сульфатов, хлоридов, углекислоты, соединений азота, калия, натрия, повышается общая и карбонатная жесткость, окисляемость и агрессивность вод.

Грунтовые воды в далеком прошлом были чистыми, они служили основным источником водоснабжения, на территории города имелось несколько тысяч грунтовых колодцев. В пределах города загрязняются также некоторые горизонты артезианских вод (C_3, C_2).

Повышение минерализации грунтовых вод, увеличение содержания хлора, сульфатов, соединений азота и прочее установлены на городских территориях Киева, Одессы, Баку, Ташкента, Краснодара и др.

На территории Баку одновременно действуют процессы засоления и опреснения грунтовых вод. Общая минерализация грунтовых вод в окрестностях города, например в районе с. Ахмедлы, составляет 400—450 мг/л, а в густо населенных и застроенных районах города она возрастает до 2400—7000 мг/л.

Баку, как известно, является одним из центров нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности. На ряде участков происходит сброс нефтепромысловых соленых и рассольных хлоридных натриевых вод, содержащих 15—140 г/л сухого остатка, 29—45 мг/л I, 150—315 мг/л Br и до 972 мг/л нефтяных кислот.

Опасно загрязнение глубоких недр земли, которое наблюдается при подземном захоронении токсичных промстоков, закачке сточных и морских вод в глубокие скважины для повышения нефтеотдачи пластов.

В США действует более 200 установок, включающих свыше 7000 скважин глубиной до 750—1500 м и более для закачки промстоков в глубокие поглощающие водоносные горизонты. Известны случаи подземной эмиссии загрязняющих компонентов при активном гидродинамическом режиме и больших давлениях, вследствие чего промстоки через тектонические разломы, гидрогеологические окна в водоупорах поднимались вверх и заражали водозаборы.

Широко применяемое в настоящее время во многих странах мира заводнение нефтяных месторождений изменяет гидрохимический режим подземной гидросферы. В США в последние 20 лет для заводнения стали широко использоваться сточные воды нефтегазодобывающей, химической, металлургической, легкой промышленности (Техас, Луизиана и др.). В настоящее время в США действуют для закачки более 1100 скважин. Вредные промстоки предварительно очищаются. В ряде стран (СССР, США и др.) разработаны

ТАБЛИЦА 5

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВЫХ ВОД В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ (по З. П. Гавшиной)

Предприятие	Годы	pH	Ca	Mg	Na + K	Cl	SO_4	HCO_3	CO_2
Химический комбинат 1	1958	7,9	343	66	31,5	183	195	940	—
	1969	7,0	931	210	3 097	1 181	6057	6344	—
Незастроенная территория	1969	7,0	170	—	—	194	350	374	—
Химический комбинат 2	1960	7,5	7	49	—	30	268	110	12
	1969	6.0	426	108	—	2 272	2478	1560	20
Химический комбинат 3	1960	7,0	612	385	1 818	23	3766	—	—
	1967	6,5	869	329	3 285	4 970	4862	—	—
Химический комбинат 4	1950	6,8	96	19	26	24	41	367	—
	1964	7,2	170	12	34	53	273	383	—
Металлургический завод	1957	7,2	423	170	60	405	2578	—	29,2
	1961	7.3	471	351	2 035	928	5243	—	22,0
Трубопрокатный завод	1941	—	1474	183	17 424	25 510	523	40	—
	1964	—	1720	2340	26 680	37 229	6851	305	—
Нефтеперерабатывающий завод	1967	7,5	152	35	—	5 194	283	—	—
	1969	8,0	358	29	—	607	—	—	—

гидрогеологические критерии для проектирования скважин по сбросу промстоков. В последние годы проведены многочисленные гидрогеологические исследования изменений химического состава подземных вод в зоне влияния предприятий различных видов промышленности.

Для иллюстрации величины и характера изменений химизма грунтовых вод во времени на территориях некоторых химических, металлургических, трубопрокатных и нефтеперерабатывающих заводов и комбинатов СССР приводится табл. 5 по данным З. П. Гавшиной [23].

В Англии и Уэльсе отмечены загрязнения подземных вод на 2434 обследованных участках складирования промышленных и бытовых отходов, шлакохранилищ и накопителей.

В США ежегодно количество бытовых отходов составляло 225 млн. т, промышленных — 100 млн. т. В 1972 г. на каждого жителя страны приходилось 2,72 кг отходов в сутки. В стране насчитывается около 175 тыс. мест отвалов. Через неуплотненные отвалы фильтруется 45% осадков, при этом происходит повышение жесткости грунтовых вод, увеличение CO_2 и пр.

Изменения гидрохимического режима происходят в результате процессов инфильтрации, конвективной и молекулярной диффузии.

Целесообразно составлять общие обзорные (для всей страны), региональные и местные карты площадных источников загрязнения подземных вод. Они будут полезны для прогнозов и осуществления водоохранных мероприятий. В Испании Институтом геологии и горного дела составлена карта возможного загрязнения подземных водных бассейнов в масштабе 1 : 1 000 000.

В связи с широким применением в сельском хозяйстве удобрений и ядохимикатов, проведением ирригации и осушения значительно изменяется химический режим подземных вод.

Опытные гидрохимические исследования, выполненные в Шлезвиг-Гольштейне (ФРГ), показали, что на полях, где вносятся удобрения, содержание растворенных веществ в грунтовых водах в 2,5—3 раза выше, чем на залесенных территориях, где удобрения не вносятся.

На территории Литовской ССР качество грунтовых вод значительно изменяется под влиянием химизации сельского хозяйства. Применение хлорорганических пестицидов, фосфорных, калиевых, натриевых, сульфатных, кальциевых (известкование), органических удобрений, аммиачной воды повысило общую минерализацию грунтовых вод и содержание в них азота, фосфора, калия, хлора и сульфатов. Около 30—40% азота, внесенного в почву, проникает в грунтовые воды. Изменяется гидрохимический профиль грунтовых вод. Под влиянием органических удобрений формируются нитратно-гидрокарбонатные кальциевые воды [29].

Орошаемое земледелие в аридной зоне в связи с повышением уровня грунтовых вод и интенсивным испарением вызывает региональное засоление вод и грунтов. Процесс соленакопления в грунтовых водах, по данным Н. В. Роговской [29], проникает на глубину до 20—80 м под влиянием конвективного движения, диффузии и погружения тяжелых солевых растворов вниз по профилю.

С повышением минерализации изменяется гидрохимический профиль грунтовых вод от гидрокарбонатных к сульфатно-хлоридным и хлоридным. Эти процессы наглядно выражены на орошаемых массивах Голодной Степи, Кура-Араксинской низменности и др. [29].

Дренаж и промывка грунтов способствуют опреснению грунтовых вод. Так, в Голодной Степи на одном из участков за 12 лет минерализация верхних горизонтов снизилась с 20—30 до 5—7 г/л.

Осушение заболоченных массивов, как показали исследования в Припятском Полесье, сопровождается повышением минерализации грунтовых вод и увеличением в них бикарбонатов кальция.

С изменением химического состава подземных вод связано развитие следующих геологических процессов: засоления, цементации грунтов, химической суффозии, антропогенного карста, осмотического сжатия и разуплотнения глинистых грунтов. Характеристика этих процессов дается в последующих главах.

Бактериологическое и химическое загрязнение подземных вод сокращает водные ресурсы, которые так необходимы для человечества. Охрана подземных вод является комплексной и сложной проблемой. Мероприятия по охране подземных вод не достигнут успеха, если одновременно не будут проводиться мелиорации атмосферы, поверхностных вод, почв, недр земли, населенных

мест. В соответствии с учением В. И. Вернадского о круговороте воды в природе охрану подземных вод следует осуществлять на всех стадиях формирования химического состава.

Изменение температурного режима подземных вод

Под влиянием антропогенных воздействий температура подземных вод изменяется как в сторону повышения, так и понижения. Повышение температуры подземных вод колеблется в широких пределах — от 1 до 100° С и выше. В очагах подземной газификации углей (ПГУ), термического выплавления сланцев, серы, в зоне влияния подземных пожаров, где температура может достигать 1000—1300° С, подземная вода может закипать и переходить в перегретый пар. Под влиянием теплопроводов, а также в результате утечек горячей воды из тепловых электростанций, сброса горячих вод АЭС, станциями кондиционирования температура подземных вод повышается до 20—30° С, а иногда до 40° С.

Города выделяют антропогенное тепло, повышающее температуру подземных вод. На территории городов формируются тепловые аномалии на глубину до 300 м. К факторам, повышающим температуру подземных вод в городах, относятся: более высокая температура воздуха, радиационный нагрев покровных грунтов, связанный с понижением альбедо, утепляющее воздействие наземных и подземных зданий и сооружений и др.

В районе Москвы гидрогеологической станцией под руководством В. И. Просенкова были выполнены точные термометрические исследования по 75 скважинам. Установлена геотермическая аномалия в интервале от грунтовых вод до протвинско-серпуховско-окского водоносного комплекса включительно, т. е. на глубину до 250—300 м с превышением температуры над фоновой в 1,5—3 раза, образовавшаяся под влиянием градопромышленного комплекса. Величина превышения с глубиной убывает от 1,06 до 0.4° С.

Понижение температуры обусловлено искусственным замораживанием грунтов и подземных вод (до —20° С), влиянием наземных и подземных холодильников, снегоуборкой, которая усиливает зимнее охлаждение грунтов и др.

ГЛАВА III

Изменение современных геологических процессов и явлений

ЧЕЛОВЕК И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ (НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ)

Современные геологические процессы и явления по степени влияния на них инженерно-хозяйственной деятельности человека разделяются автором на три категории:

1) природные, не испытывающие влияния деятельности человека;

2) природно-антропогенные, к которым относятся природные геологические процессы и явления, количественно и качественно измененные деятельностью человека;

3) антропогенные, возникновение и проявление которых целиком вызвано деятельностью человека.

Разделение современных геологических процессов и явлений на указанные три категории вызвано тем, что они различаются между собой по условиям формирования, развития и проявления и требуют дифференцированного подхода к изучению, прогнозированию и регулированию.

Природные геологические процессы и явления. К ним относятся: а) все виды эндогенных процессов и явлений (вулканические, сейсмические, эпейрогенические, глубинные геотермические и пр.); б) та часть эндогенных процессов и явлений, развивающихся внутри массива пород, которая связана лишь с природным изменением состояния пород под влиянием действующих в породах внутренних сил (диффузионное и фильтрационное выщелачивание, осмотическое сжатие и набухание, просадки, плывуны и пр.); в) все виды экзогенных процессов и явлений, проявляющихся преимущественно вне сферы поселения человека и влияния его деятельности. Таких территорий мало сохранилось не только в Европе, но и в Азии, особенно в странах густо застроенных, с большой плотностью населения.

Наименьшая плотность населения в настоящее время в Австралии, Африке и Америке.

По мере развития науки и техники все больше будет расширяться техносфера и возрастать роль человека в управлении силами природы. В будущем человек получит возможность регулировать многие геологические процессы и явления, в том числе и эндогенные. Поэтому значение процессов и явлений первой категории будет уменьшаться и, наоборот, возрастет роль геологических процессов и явлений второй и третьей категорий, т. е. связанных с деятельностью человека.

Среди природных геодинамических процессов пока только экзогенные трансформируются человеком, однако в недалеком будущем возможно влияние и на эндогенные геологические процессы (землетрясения и др.).

Природно антропогенные геологические процессы и явления. Природные геологические процессы и явления, измененные деятельностью человека, уже перестают быть полностью естественными, и в то же время их нельзя считать антропогенными, так как они возникают независимо от его деятельности. Поскольку в качественном и количественном проявлении они отличны от природных и в их формировании наряду с природными участвуют и антропогенные факторы, целесообразно их выделять в самостоятельную (смешанную) категорию и называть природно-антропогенными геологическими процессами и явлениями.

В сфере своего влияния человек изменяет качественно и количественно (в сторону усиления или ослабления, а иногда и полного прекращения) такие экзогенные и эндолитогенные (внутрипородные) геологические процессы и явления, как выветривание пород, осадкообразование, плоскостная эрозия почв и грунтов, оврагообразование, речная эрозия, морская абразия, заболачивание, осыпи, обвалы, сели, оползни, карст, механическая суффозия, морозное пучение, засоление почв и грунтов и ряд других.

Антропогенные геологические процессы и явления. В генетическом отношении это совершенно самостоятельная и обособленная категория геологических процессов и явлений, возникновение, проявление и развитие которых связано с инженерно-хозяйственной и культурно-бытовой деятельностью человека. Этим они принципиально отличаются от природных геологических процессов и явлений.

Все три категории современных геологических процессов и явлений имеют сложные взаимосвязи, выявление которых представляет важнейшую задачу динамической и инженерной геологии.

При определенных количественных и качественных изменениях геологических явлений возможен их переход из одной категории в другую. Это наиболее типично для второй, смешанной категории явлений. Природно-антропогенные геологические явления будут переходить в третью категорию (антропогенных геологических явлений), когда преобладающим станет влияние антропогенных факторов.

Если влияние антропогенных факторов прекратится, явления второй категории могут переходить в категорию природных геологических явлений, не испытывающих влияния деятельности человека. В этом случае их развитие и проявление будет обусловлено действием лишь природных факторов (например, морская абразия после снятия искусственных воздействий на состояние морского берега и шельфа, карст после затухания напорной фильтрации вследствие спуска водохранилища и т. д.).

Наблюдаются переходы геологических явлений первой и третьей категорий во вторую. Природные геологические явления по мере усиления влияния на них антропогенных факторов становятся смешанными, антропогенно-геологическими. Степень трансформации будет зависеть от возрастания роли человека в преобразовании природы. Но протекать она будет неравномерно: сначала будут преобразовываться экзогенные, затем эндолитогенные и в последнюю очередь некоторые эндогенные процессы и явления как наи

менее подверженные воздействию человека. Учитывая перспективу развития человеческого общества и рост его влияния на природу, можно считать, что из всех возможных превращений геологических явлений переход природных явлений во вторую категорию и образование явлений третьей категории будут наиболее распространенными. Вместе с тем явления изменяются и в обратном направлении, при ослаблении действия антропогенных факторов и усилении роли природных. Известно много подобных фактов, когда явление постепенно утрачивает антропогенные черты. Ярким примером может служить природная эволюция искусственных подземных полостей в древних, давно заброшенных соляных рудниках в Илецкой защите, Артемовске, Солотвине, Юрунг-Тумусе и др., которые постепенно под воздействием природных факторов и условий превращаются в грандиозные пещеры и воронки антропогенно-карстового типа.

Образцом природной ассимиляции искусственного водоема служит Сенежское озеро, образовавшееся в результате строительства плотины на р. Сестре, предпринятого по указанию Петра I в связи с проектом по соединению рек Москвы и Волги. В настоящее время многие принимают Сенежский водоем за естественное озеро. Геологические процессы и явления, связанные с существованием и эволюцией озера, приобрели естественный характер.

Очень древние ирригационные магистральные каналы Боз-Су, Салар и другие в районе Ташкента также могут служить примером природной ассимиляции искусственных сооружений и постепенного превращения их в естественные водотоки. Под воздействием ряда природных факторов и условий каналы утрачивают первоначальную форму берегов, а на отдельных участках изменяют направление. На берегах и склонах некоторых каналов, как в речных долинах (канал Салар) образовались террасы, овраги и т. п.

Преобразование геологических явлений и переход их из одной категории в другую выражают общий закон перехода количества в качество и обратно.

Все три категории геологических процессов и явлений служат объектом изучения инженерной геологии, поскольку они оказывают влияние на условия строительства, устойчивость и эксплуатацию инженерных сооружений и использование территорий для нужд народного хозяйства.

Не случайно Ф. П. Саваренский в свое время подчеркивал, что динамическая геология есть основа, на которой строится инженерная геология. В отличие от динамической геологии инженерная геология изучает современные геологические процессы и явления в связи с осуществлением различных видов строительства не только с качественной, но и с количественной стороны, с прогнозом степени их влияния на устойчивость сооружений и хозяйственных территорий, разработкой научных основ борьбы с ними.

Проблема взаимодействия человека и геодинамических условий, взаимосвязь природных и антропогенных геологических процессов подробно освещена в работе автора [63]. Человек, с одной стороны, ослабляет и прекращает развитие некоторых отрицательных процессов и явлений и, наоборот, активизирует развитие других. В ряде мест удалось приостановить или уменьшить действие заболачивания, вторичного засоления, эрозии, абразии, оползнеобра-

зования, селей, обвалов и др. Примеры этого многочисленны. Однако в настоящее время в связи с нарушением геодинамических равновесий преобладает активизация современных геологических процессов.

Осуществляемые мероприятия по инженерной подготовке городских территорий в соответствии с генеральными планами развития городов в сущности и направлены на ликвидацию или на ограничение развития отрицательно действующих геологических процессов и явлений.

Борьба с некоторыми геологическими явлениями проводится в государственном масштабе как важнейшая народнохозяйственная задача (борьба с оползнями, селями, водной и ветровой эрозией, засолением почв, заболачиванием территории и др.).

Регулирование современных экзогенных геологических процессов и явлений и управление ими — одна из актуальных проблем современной науки и техники.

Ниже дается описание антропогенных изменений природных экзогенных геологических процессов и явлений: выветривания, осыпей, обвалов, селей, оползней, эрозии, абразии, карста, эоловых процессов и заболачивания. Такое обобщение антропогенных изменений экзогенных геодинамических процессов дается впервые. Автор широко использовал материалы собственных исследований.

ВЫВЕТРИВАНИЕ ПОРОД

Выветривание пород представляет собой наиболее распространенный геологический процесс, наблюдаемый во всех природных зонах. Оно изменяет состав, состояние, структуру и свойства пород, но с разной направленностью и интенсивностью, чаще в сторону их разрушения.

Человеку принадлежит двойная роль в выветривании пород: во-первых, он сам выступает в роли агента выветривания и, во-вторых, воздействует на природные агенты выветривания (солнечную радиацию, воду, кислород, углекислоту, организмы) и на среду, в которой происходит этот процесс (геологические и гидрогеологические условия, рельеф, климат, растительность и др.). Таким образом, человек оказывает на выветривание пород прямое и косвенное воздействие.

Вопросам выветривания посвящено огромное число работ, однако роли человека в выветривании длительное время не уделялось внимания. Лишь в последние годы стали изучаться антропогенные факторы выветривания, главным образом в области почвоведения, геологии и инженерной геологии.

В инженерно-геологическом аспекте проблема выветривания пород освещена в работах Ф. П. Саваренского, В. А. Приклонского, И. В. Попова, Е. М. Сергеева, Н. В. Коломенского, Г. С. Золотарева, З. А. Макеева, С. В. Дроздова, П. Ф. Швецова, М. В Чуринова, В. Д. Ломтадзе, Э. А. Джавахишвили, Л. А. Церцвадзе, Л. П Корженко, С. Д. Воронкевича и др. Но и в них роль человека в выветривании пород в достаточной мере не раскрыта. Следует отметить лишь работу Н. В. Коломенского, посвященную этой теме [54].

В докладах С. Б. Кареселидзе, А. К. Мастицкого, В. В. Каякина, Л. А. Молокова, Н. И. Калмыковой, В. К. Разумова на Всесоюзном научном семинаре по инженерно-геологическому изучению процессов и кор выветривания, происходившем

в 1971 г. в пос. Лазаревское, были освещены вопросы выветривания и изменения свойств пород в котлованах в связи со строительством Ингури ГЭС, Токтогульского гидроузла, Саратовской, Нурекской, Нижне-Камской ГЭС и др. [21]. В докладе Г. Л. Фисенко и С. В. Кагермазова рассмотрены закономерности выветривания и осыпания пород в откосах открытых горных выработок [21]. Рассмотрим кратко деятельность человека как агента выветривания.

В век ноосферы воздействие человека, вызывающее изменение пород земной коры, исключительно велико и многогранно и может быть сопоставимо с другими (естественными) агентами выветривания. Человек в грандиозных масштабах извлекает, перемещает и изменяет породы земной коры.

Приведем некоторые факты прямых воздействий человека на горные породы и их выветривание, образование антропогенной коры выветривания (антропогенного элювия). При добыче полезных ископаемых и проведении строительных работ ежегодно в мире извлекается из недр Земли и перемещается 100 млрд. т пород или 25 т на одного человека.

В СССР извлекается 3 млрд. м^3 горных пород в год. При проведении горных и строительных работ породы разрабатываются подземным и открытым способами, иногда с применением взрывов. При экскавации и взрывах разрушается естественная структура пород, происходит их дезинтеграция, изменение состава. Вследствие перемещения породы образуется антропогенная кора выветривания. В связи с этим существенно изменяется геодинамическая, геохимическая, геотермическая, гравитационная обстановка. Происходят более глубокие изменения химико-минерального, гранулометрического состава, состояния и физико-механических свойств пород, преимущественно в направлении их разупрочнения (редко в коре выветривания наблюдается упрочнение под влиянием процессов цементации, отверделия и др.).

В штольнях, тоннелях и других подземных выработках развивается процесс подземного выветривания (расслаивание, растрескивание, шелушение, пучение, вывалы пород) и из продуктов выветривания формируется антропогенная кора выветривания субтерранного типа. Мощность коры выветривания в одесских катакомбах, по наблюдениям автора, колеблется от 0.3 до 3 м и более.

Наземное выветривание антропогенного характера происходит в бортах карьеров, отвалах горных пород, откосах каналов, дорожных выемок, различных насыпей и т. п. В нижней части откосов из продуктов выветривания формируются осыпи мощностью от 1 до 30 м и более.

При устройстве подземных и открытых стационарных выработок изменяется напряженное состояние, структура и свойства пород и, кроме того, открывается доступ другим агентам выветривания, которые начинают действовать более интенсивно в уже разупроченных породах. Породы разного генезиса, состава и возраста выветриваются по-разному; на процессы выветривания оказывает влияние окружающая среда. Гипергенное преобразование породы от скально-монолитного до дисперсного состояния представляет собой сложный, нередко длительный процесс. Однако некоторые типы пород очень быстро выветриваются, что важно учитывать при устройстве до говре-

ТАБЛИЦА

СКОРОСТЬ ВЫВЕТРИВАНИЯ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД В КОТЛОВАНАХ И КАНАЛАХ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

ъект, порода, возраст	Скорость выветривания (в первый год), м/год	Автор, год
Воткинская ГЭС на р. Каме, аргиллиты, верхняя пермь	0,35	Д. П. Прочухан, 1960 г.
Саратовская ГЭС на р. Волге, глины плотные, слоистые, мел, неоком	0,52 0,34 0,80 (в откосе за 3 мес)	С. Д. Воронкевич, 1957 Г. С. Золотарев, 1962 Н. И. Калмыкова, 1969
Чиркейская ГЭС на р. Куре, глины известковистые, плотные, гипсоносные, апшерон	0,50	Н. В. Коломенский, С. В. Дроздов, 1957
Нурекская ГЭС на р. Вахш, алевролиты и аргиллиты, нижний мел	0,50	М. И. Погребинский, 1965
Канал Волга—Дон, глины плотные, слоистые, гипсом, майкопский ярус, палеоген — неоген	0,50	З. А. Макеев, 1957
Иркутская ГЭС на р. Ангаре, алевролиты слабые, юра	1,50	В. А. Емельянов, 1957
Нижне-Камская ГЭС на р. Каме, глины и алевролиты плотные, пермь	1—2 см/ч (летом)	Н. И. Ключарев, 1969

менных выемок. Например, некоторые разности майкопских, апшеронских, неогеновых глин при их обнажении превращаются в дресву и щебенку в течение нескольких дней и даже часов. По данным Г. С. Золотарева, глинистые породы Поволжья (юрские, меловые и майкопские) в течение года выветрились на глубину до 5,5 м. В табл. 6 приводятся данные Л. А. Молокова и др. [21] о скорости выветривания глинистых пород в котлованах и каналах на гидротехнических объектах.

К прямым воздействиям на выветривание пород относится сельскохозяйственная деятельность человека, в ходе которой ежегодно вспахивается и перерабатывается 6 км³ почв и грунтов. На вспаханную землю легче воздействуют температура, кислород, атмосферная влага, микроорганизмы и др., проникающие в подстилающие породы и также вызывающие их выветривание.

На Земле площадь пашни составляет 1424 млн. га (13% суши), за последние 60 лет она увеличилась почти в 2 раза. В СССР площадь распаханных земель превышает 240 млн. га. Освоение целины увеличило площадь пашни на 42 млн. га. Приведенные цифры свидетельствуют о больших масштабах земледельческого профиля выветривания пород.

Военные действия являются существенным фактором антропогенного выветривания пород. Массовое строительство фортификационных сооружений и разрывы снарядов, мин, фугасов, бомб, ракет и других средств поражения вызывают механическое разрушение пород, и, сле-

довательно, можно выделять военный профиль выветривания пород.

По данным М. И. Хазанова [157], только инженерная подготовка европейских театров военных действий в первую и вторую мировые войны привела к извлечению и перемещению нескольких миллиардов кубических метров пород. Общая масса бомб, сброшенных союзниками во время второй мировой войны, достигала 1,6 млн. т, выброс грунта от их разрыва мог составить более 150 млн. м^3.

За семь лет (1965—1971 гг.) в результате воздушных бомбардировок на Вьетнам было сброшено 6,2 млн. т бомб, что в 3 раза превышает общее количество бомб, сброшенных на Европу, Африку и Азию в годы второй мировой войны. На территории Вьетнама образовалось 12 млн. воронок с выбросом грунта более 1,5 млрд. м^3: сформировался военный ландшафт. Всего за время войны США сбросили на Вьетнам, Лаос и Камбоджу 7,4 млн. т бомб [157].

К естественным агентам выветривания принято относить температуру пород (зависящую от солнечной радиации), кислород и углекислоту воздуха, воду, организмы.

Природная среда (обстановка), в которой развиваются процессы выветривания, включает геологические, гидрогеологические, гидрографические условия, климат, рельеф, растительный покров и пр. Человек активно изменяет все перечисленные агенты выветривания и все компоненты природной среды и, следовательно, через них оказывает дополнительное влияние на процессы выветривания пород. Эти воздействия неоднозначны, некоторые усиливают, другие ослабляют выветривание пород. Активность таких агентов выветривания, как, например, вода, углекислота, температура, в городских условиях возрастает в результате деятельности человека.

Насыщение природных вод агрессивными компонентами, неустановившийся режим, колебания уровней, смена процессов обводнения и осушения пород и другие изменения активизируют их как агента выветривания пород. Увеличение углекислоты в атмосфере, гидросфере и составе пород, а также колебания температурного режима оказывают такое же воздействие. Действие таких агентов выветривания, как солнечная радиация и кислород, наоборот, ослаблено деятельностью человека. В целом можно считать, что деятельность человека усиливает активность природных агентов выветривания.

Антропогенные изменения атмосферы, гидросферы, биосферы, рельефа, климата и других компонентов природной среды и влияние этих изменений на процессы выветривания пород подробно рассмотрены выше.

Геологический процесс антропогенного выветривания пород стал глобальным процессом; он охватил 55% площади суши Земли, а по глубине проявления превзошел естественный процесс выветривания.

Путями проникновения агентов глубинного антропогенного выветривания служат шахты, рудники, глубина которых достигает 2—4 км нефтяные и газовые скважины глубиной 2—10 км, скважины для нагнетания промстоков и атомных отходов глубиной 2—4 км, подземные газонефтехранилища глубиной до 1—2 км.

Изучение кор выветривания имеет научно-практическое значение; так, они служат средой для развития таких геологических процессов и явлений, как осыпи, обвалы, опол

ни, сели, абразии, эрозия, карст и др.

Процессы выветривания оказывают большое влияние на строительную практику. Наличие быстро выветриваемых пород и кор выветривания значительной мощности может осложнять строительство и эксплуатацию инженерных сооружений. Выветрелые породы в большинстве своем имеют пониженные показатели прочностных свойств.

При изысканиях рекомендуется пользоваться показателем выветрелости породы Г. С. Золотарева

$$K_в = \frac{F_н - F_о}{F_н - F_а},$$

где $F_н$, $F_о$, $F_а$ — характерный показатель (прочность, объемная масса, пористость и др.) соответственно невыветрелой, оцениваемой и выветрелой (горизонт А) пород.

Полезно использовать показатель стойкости (выветриваемости) пород (по П. Н. Панюкову)

$$n = \frac{R_1}{R_2},$$

где R_1 — прочность пород через год после обнажения в откосе; R_2 — начальная прочность пород.

Коэффициент выветрелости крупнообломочных пород определяется по СНИПу II-15—74 [150].

ОСЫПИ И ОБВАЛЫ

О с ы п и образуются в результате выветривания пород у подножия склонов и откосов. В искусственных выемках их можно относить к антропогенным явлениям. Глубина современных карьеров стала достигать 600—800 м, строительных котлованов 100—200 м, дорожных выемок — 50 м, высота насыпей — 50—120 м. Число искусственных выемок огромно. Следовательно, фронт выветривания обнаженных пород и образования осыпей значительный.

Движение осыпей по склонам и откосам часто вызывается искусственными воздействиями: сбросом сточных вод, снега, вибрациями, взрывами, движением людей, скота и пр.

Углы наклона осыпей зависят от состава продуктов выветривания, чаще составляют: у песчаных — 32—34°, мелкощебнистых — 35—36°, крупнощебнистых — 38—40°, крупнообломочных — 40—45°. Мощность осыпей увеличивается вниз по откосу и может достигать нескольких десятков метров. Осыпи наносят ущерб карьерному хозяйству, дорогам, зданиям и другим сооружениям.

Меры предупреждения и борьбы с осыпями: уборка осыпного материала, устройство задерживающих стен, щитов, сеток, улавливающих траншей, рвов, канав, планировка склона и откоса, устройство уступов, фитомелиорация и т. п.

О б в а л ы распространены на Кавказе, в Крыму, Закарпатье, на Урале, Алтае, в Тянь-Шане, Забайкалье, Хибинах и других горных районах страны. Они широко развиты в трещиноватых скальных породах на крутых склонах гор, в берегах водоемов. Объем обвалов колеблется на Земле от нескольких до миллионов и даже миллиардов кубических метров пород (катастрофические обвалы). Обвалы причиняют большой ущерб, разрушают целые города, поселки, фабрики, заводы, дороги и другие сооружения. Катастрофические обвалы описаны Г. Маршем [94]. По мнению этого автора, обвалы чаще наблюдаются там, где вырублены леса. На возникновение обвалов

оказывают влияние следующие антропогенные факторы: подрезка склонов, вырубка лесов, взрывные работы, атомные взрывы, воздушные бомбардировки, подмыв склонов и откосов искусственными водоемами, неправильное ведение горных и строительных работ и др. Многочисленные обвалы антропогенного типа наблюдались автором в Азербайджане, Крыму, на Кавказе, в Поволжье и других районах страны.

Для предупреждения и борьбы с обвалами применяют тампонаж трещин, цементирование поверхности склонов, скрепление блоков пород металлическими скобами, сетками, анкеровку, подпорные стены, улавливание обломков полками, траншеями, рвами, удаление блоков пород, расчистку и т. п.

СЕЛИ

Сели относятся к группе склоновых геолого-гидродинамических процессов, характерных для горного ландшафта. Селегрязекаменные потоки возникают чаще внезапно при ливнях, быстром таянии ледников и снежного покрова, прорывах горных озер и сопровождаются выносом обломочного материала, накапливающегося на склонах оплывин и оползней, и продуктов выветривания пород.

В СССР сели распространены в горных районах Кавказа, Средней Азии, Казахстана, Прибайкалья, Карпат и др.; всего насчитывается 2200 селевых бассейнов. Районы распространения селей показаны на рис. 8 (по СНиП II-А.6—72).

Около 20—25% территории горных и предгорных районов СССР селе- и лавиноопасны. Характер селей контролируется геоморфологическими, структурно-геологическими, литологическими, климатическими и гидрологическими условиями.

В некоторых селеактивных горных районах зарегистрированы сотни и тысячи селей. Например, в районе Копет-Дага до 1964 г. учтено 2245 селевых потоков, в Таджикистане — 294, в том числе грязевых 62, грязекаменных 112, водокаменных 20.

Селевые потоки имеют скорость до 3—6 м/с и обладают большой разрушительной силой. Они наносят ущерб народному хозяйству, разрушая города, поселки, заводы, мосты, дороги, леса, сельскохозяйственные плантации. Сели не один раз возникали в Алма-Ате, Ереване, Ялте, Боржоми, Баку, Ашхабаде, и др.

Инженерно-хозяйственная деятельность человека оказывает значительное влияние на образование селей. К антропогенным факторам селеобразования относятся вырубка лесов, уничтожение кустарников, травяного покрова, лесные пожары, обнажение пород выработками, накопление в долинах и на склонах отвалов горных пород при проведении горных и строительных работ, сброс на склоны сточных вод, устройство на склонах каналов, террас. Примером могут служить Карпаты, где под влиянием интенсивной вырубки лесов на склонах гор в последние десятилетия стали активизироваться процессы выветривания пород, образования осыпей, эрозии склонов, что способствовало развитию селей. Разрушительные селевые потоки участились в бассейнах Тиссы, Прута, Серета и Днестра. Селевые потоки, наблюдавшиеся в 1927—1976 гг., причинили много бедствий: разрушение железных, автомобильных дорог, мостов, дамб, плотин, жилых и общественных построек, заиление посевов пастбищ и т. п.

В некоторых районах СССР возникновение селей связано с работами по добыче полезных ископаемых и беспорядочным размещением и накоплением на склонах и в руслах горных отвалов. Это наблюдалось на Тырныаузском горно-металлургическом комбинате в Кабардино-Балкарии; на Садонском руднике в Северной Осетии, на ряде горнодобывающих предприятий Узбекской ССР и др.

В Киеве в широко известный овраг Бабий Яр глубиной 53 м, протяжением 2,5 км и шириной 60—200 м способом гидромеханизации производился намыв вскрышных песчано-глинистых пород из рядом расположенных карьеров кирпичных заводов. К весне 1961 г. в овраге скопилось 4 млн. м³ пульпы. Максимальная мощность пульпы составила 30 м. В 1961 г. масса намытого грунта в виде огромного земляного потока внезапно двинулась вниз по тальвегу оврага в направлении к Днепру со скоростью 5 м/с. В район Подола поступило 700 тыс. м³ жидкого грунта, было затоплено 25 га городской территории, мощность земляного вала в устьевой части достигала 6 м.

Киевский антропогенный сель, обследованный автором, возник по следующим причинам: 1) не проводились дренаж и осушение намытых грунтов; 2) пульпой были закрыты выходы полтавского и харьковского водоносных горизонтов; 3) водопритоки атмосферных вод в овраг превышали пропускную способность ливнесточной системы; 4) были допущены просчеты в оценке свойств водоотдачи намывных грунтов; 5) при заполнении оврага для удержания пульпы строились земляные плотины без учета действительных напряжений [78].

В Чили в результате прорыва дамбы хвостохранилища, в котором в течение 35 лет скапливались отходы промывки руды, на поселок обрушилось 2 млн. т жидкой грязи, под которой было погребено около 100 домов вместе с их обитателями.

Широко известный Алмаатинский сель 1973 г. до некоторой степени связан с деятельностью человека. Бассейн р. Малой Алмаатинки, на конусе выноса которой расположен г. Алма-Ата, является весьма селеактивным и селеопасным. В 1841 г. в результате обрушившегося селя погибло 90% местного населения.

Сель 1973 г. * по масштабам и последствиям мог превзойти широко известный Алмаатинский сель 1921 г. Тогда сель в течение 4 ч вынес в город 665 тыс. м³, или 1,3 млн. т обломочного материала, снес много домов, фруктовых садов, вызвал гибель людей и животных. В 1973 г. сель был вызван бурным таянием ледников (температура была на 8° С выше средненаблюденной), питающих р. Малую Алмаатинку, объем селя превышал 4 млн. м³.

Водокаменно-грязевой поток мощностью более 40 м с огромной скоростью, сокрушая все на своем пути (его энергия определялась в 120 млн. л. с.), устремился к густонаселенным районам Алма-Аты. Городу грозило разрушение. Но сель был остановлен противоселевой плотиной в урочище Медео высотой 100 м, шириной в основании 500 м, селеуловителем объемом 6 млн. м³, строительство которых было завершено в 1972 г. Нельзя не отметить, что при борьбе с селем в 1973 г. были вскрыты ошибки изыскателей

* С. М. Флейшман. Инженерные уроки алмаатинского селя. — «Гидротехника и мелиорация», 1974, № 2.

РИС. 8.

Схематическая карта районов проявления селей на территории СССР.

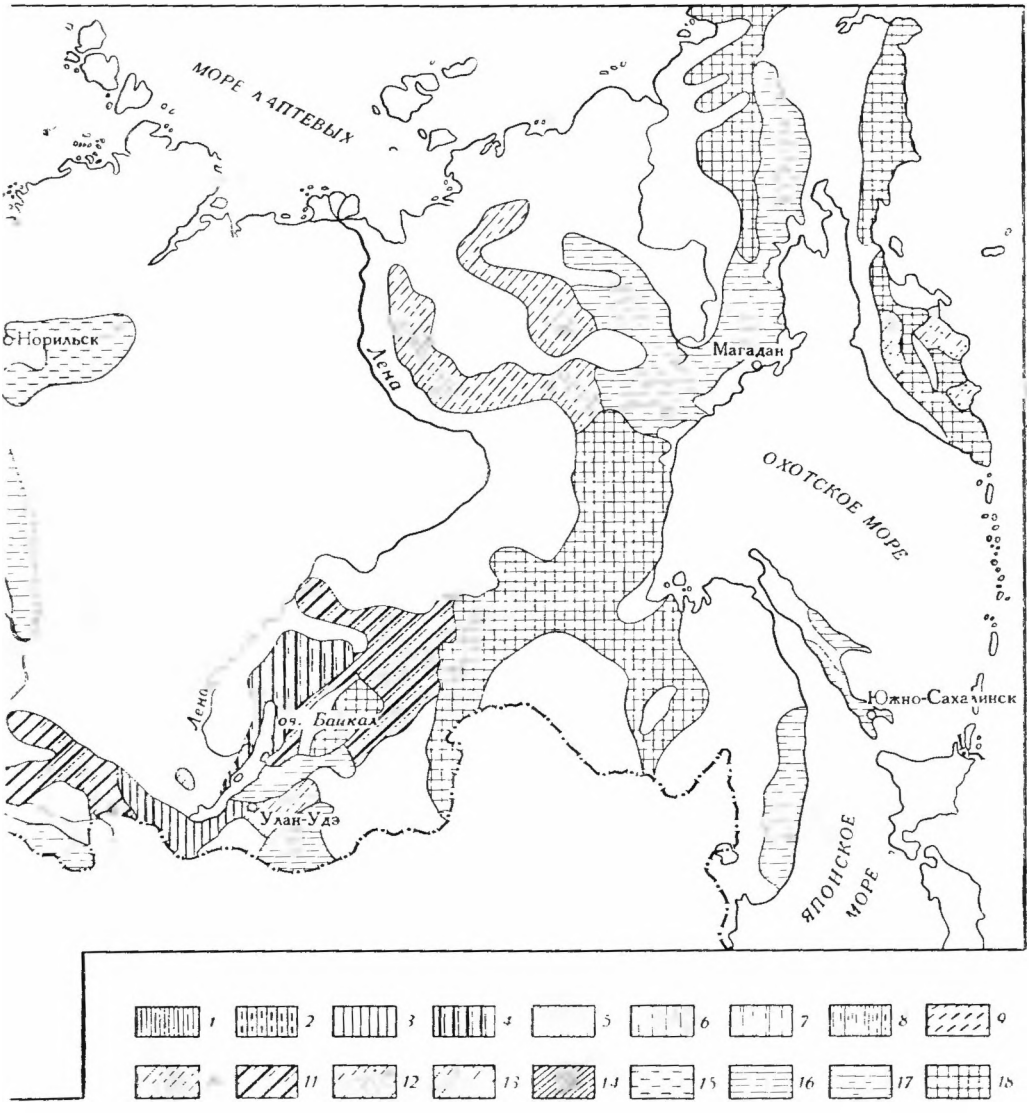
Районы интенсивного проявления селей, формирующихся за счет: *1* — дождей; *2* — дождей и снеготаяния; *3* — дождей и подпруживания водотоков; *4* — дождей, снеготаяния и подпруживания водотоков; *5* — дождей, таяния ледников и подпруживания водотоков; *6* — таяния ледников, подпруживания водотоков, прорыва озер; *7* — дождей снеготаяния и ледников, подпруживания водотоков, прорыва озер; *8* — дождей, снеготаяния, подпруживания водотоков, прорыва озер.

Районы средней интенсивности проявления селей, формирующихся за счет: *9* — снеготаяния; *10* — дождей; *11* — дождей, снеготаяния и подпруживания водотоков; *12* — дождей и вулканической деятельности; *13* — дождей и снеготаяния; *14* — дождей, подпруживания водотоков.

Районы слабой интенсивности проявления селей, формирующихся за счет: *15* — снеготаяния *16* — дождей; *17* — дождей и снеготаяния. *18* районы возможного проявления селей и [illegible] процессов (по отрывочным сведениям и [illegible] туры или устным сообщениям)

и проектировщиков, поскольку некоторые противоселевые сооружения оказались неэффективными и недостаточно прочными. Вышло из строя водоотводящее сооружение (засорилось), началась фильтрация и размыв тела плотины. При реконструкции плотины намечено увеличение ее высоты до 150 м и емкости селеуловителя до 12 млн. м^3.

Меры предупреждения и борьбы с селями включают: искусственное снижение уклонов дна долины путем террасирования дна и строительства каскада удерживающих сооружений, строительство плотин и селехрани-



лищ, сооружение водосбросов, профилактический спуск воды из ледниковых озер, фитомелиорацию, искусственное снижение солнечной радиации (устройство дымовых завес с вертолетов с целью ослабления таяния ледников), ограничение вырубки лесов, выпаса скота и т. п.

ОПОЛЗНИ

К оползнеобразующим факторам относится новый геологический фактор — инженерно-хозяйственная деятельность человека, оказывающая большое влияние на рельефообразующие процессы и состояние склонов. Антропогенные воздействия на склоны весьма разнообразны, по характеру они дифференцируются на целенаправленные и стихийные, прямые и косвенные.

Выявление особенностей антропогенных воздействий помогает полнее раскрывать природу антропогенных факторов и глубже познавать оползневой процесс. По степени влияния и участия антропогенных факторов в формировании оползневых склонов оползни разделяются автором на три категории: природные, природно-антропогенные и антропогенные. Такое деление имеет теоретический смысл, так как глубже раскрывается генезис оползней, и приобретает практическое значение для рационального выбора системы противооползневых мероприятий.

Автор имел возможность наблюдать развитие антропогенных оползней в Крыму, на Кавказе, Одесском побережье, в Молдавии, Баку, Киеве, Подмосковье, Ростове-на-Дону. Таганроге, в Поволжье (Горький, Ульяновск, Саратов) и других районах.

В последние десятилетия наблюдается активизация оползней и рост числа оползневых очагов, причем этот процесс связан не столько с природными, сколько с антропогенными факторами. Согласно международной статистике около 80% современных оползней связано с деятельностью человека.

Антропогенное воздействие на склоны проявляется в двух направлениях: активизации и стабилизации оползней. К сожалению, активизация оползней опережает их закрепление, что обусловлено двумя главными причинами: а) прогрессирующим расширением техносферы, ростом отрицательных воздействий человека на склоны и б) недостаточным объемом работ по стабилизации оползневых склонов.

Деятельность человека нарушает сложившиеся природные равновесия, изменяет состояние рельефа, разупрочняет породы, активизирует склоновые (не оползневые) экзогенные геологические процессы, что сопровождается активизацией старых оползней и возникновением новых в местах, где они отсутствовали.

Антропогенные воздействия на склоны и формирование оползней связаны со следующими видами деятельности человека: 1) городское, поселковое, курортное строительство и хозяйство; 2) промышленное строительство и производство; 3) строительство и эксплуатация дорог; 4) гидротехническое строительство и водное хозяйство; 5) добыча полезных ископаемых; 6) сельское хозяйство; 7) лесное хозяйство; 8) военные действия.

Каждый вид деятельности человека специфически воздействует на состояние склонов и развитие оползней.

Ниже приводится систематика антропогенных факторов и условий, вызывающих оползни.

Систематика факторов и условий антропогенного оползнеобразования

Уничтожение растительного и почвенного покрова. Вырубка лесов. Уничтожение зеленых насаждений. Снятие дернового покрова. Распашка и перекопка почв.

Изменение рельефа. Подрезка склонов и откосов. Устройство выемок. Дефектная планировка местности. Заложение неустойчивых откосов.

Обводнение склонов и откосов. Устройство горных водохранилищ, прудов и каналов на склонах. Чрезмерные поливы. Сброс атмосферных вод и снега, технических, хозяйственных, шахтных, дренажных и ирригационных вод. Утечки воды из водопроводящих сетей, резервуаров и бассейнов, а также на промышленных, хозяйственных и бытовых объектах. Застойные скопления вод. Подпруживание стока.

Изменение режима подземных вод. Повышение уровня. Увеличение гидродинамического давления. Частые и резкие колебания уровня. Изменение градиентов напора. Увеличение взвешивающего влияния.

Изменение свойств грунтов. Увеличение влажности, пористости. Набухание. Размокание. Размягчение. Переход в текучее состояние. Тиксотропное разжижение. Дезинтеграция и раздробление. Увеличение трещиноватости. Понижение прочностных свойств (уменьшение E, C, φ).

Изменение геодинамического состояния массива, развитие антропогенных геологических процессов. Усиление выветривания. Обвалы, осыпи, сели. Развитие антропогенной эрозии. Активизация абразии. Искусственное затопление, заболачивание. Механическая и химическая суффозия. Просадки, выпывание, выдавливание, течение грунтов. Искусственные землетрясения. Субтеральные геологические процессы. Сдвижение грунтов в массиве.

Изменение напряженного состояния массива. Нагружение верхней части склона и откоса. Разгрузки в основании (срезки, выемки). Увеличение перепада давлений в поле напряжений. Динамические нагрузки. Устройство подземных выемок.

Антропогенное оползнеобразование представляет собой многогранный процесс, и, как показывает приведенная выше систематика, в его формировании могут участвовать более 50 факторов.

В последние годы стали разрабатываться региональные классификации антропогенных оползней. Разработанная автором классификация антропогенных оползней Южного берега Крыма приведена в табл. 7. Для Черноморского побережья Кавказа такая классификация разработана В. С. Курдяковым.

Как природные, так и антропогенные оползни широко распространены на склонах водоразделов, побережий океанов, морей, озер, водохранилищ, рек, оврагов и балок. Оползни нередко образуются при незначительных уклонах местности (более 3°). Чисто антропогенные оползни, приуроченные к искусственным откосам насыпей и выемок, распространены повсеместно, во всех природных зонах при наличии благоприятных литологических и гидрогеологических условий.

Распространение оползней в отдельных районах черноморского побережья СССР иллюстрирует табл. 8.

На Южном берегу Крыма с 1962 по 1972 г. число оползней увеличилось с 359 до 429 (на 19,5%) главным образом за счет антропогенных воздействий на оползневые склоны. Суммарная площадь оползней увеличилась на 42,1%.

Активизируются оползни на территории г. Баку под влиянием искусственного увлажнения и подрезки склонов. Антропогенное оползнеобразование наблюдается в Горьком, Ульяновске, Волгограде, Саратове, Москве, Киеве, Каневе, Ставрополе, Пятигорске, Кишиневе, Сочи, Одессе, Сухуми и в других городах.

ТАБЛИЦА 7

КЛАССИФИКАЦИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ОПОЛЗНЕЙ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Генетический тип оползней	Условия и факторы оползнеобразования	Меры предупреждения и борьбы с оползнями
Оползни, вызванные подрезкой склонов и откосов	Подрезка основания и нижней части склонов при вертикальной планировке местности, прокладке улиц, дорог, строительстве зданий, сооружений, подземных коммуникаций, устройстве карьеров, траншей и пр. Заложение крутых и неустойчивых откосов в карьерах, дорожных выемках, насыпях, котлованах и других выемках	Закрепление подрезанных склонов подпорными стенами с застенным дренажем, контрфорсными столбами, буронабивными и прочими сваями, шпунтом и другими удерживающими сооружениями. Террасирование склонов и откосов, регулирование высоты и крутизны откосов, размеров полок, берм. Отвод поверхностных вод, озеленение склонов. Не допускается устройство выемок, подрезка языка оползня и основания оползневых склонов (включая подводный склон в море) без применения охранно-предупредительных мер. Запрещается изъятие песка и галечника с пляжей в прибрежной зоне моря, в руслах горных рек. Регулирование режима землечерпательных работ для судоходства вблизи оползневых склонов
Оползни, вызванные нагружением прибровочной и верхней части склонов и откосов	Весовые нагрузки, изменяющие напряженное состояние склонов и откосов (уменьшение коэффициента устойчивости) в связи со строительством зданий, сооружений, устройством складов, отвалов, насыпей, свалок и пр.	Не допускается увеличение статических нагрузок в прибровочной части и вершине оползня. Расстояние опасной зоны от бровки склона определяется расчетом. Нагружение вершины оползня возможно при компенсационном нагружении (пригружении) основания оползня или при осуществлении других способов стабилизации склона. Применение подпорных сооружений (подпорные, шпунтовые стены, контрфорсные упоры), механического крепления (буронабивные сваи, столбы-шпонки, сваи-шпонки и др.)
Оползни, вызванные обводнением и увлажнением склонов и откосов	Искусственное повышение уровня грунтовых вод, обводнение и увлажнение пород в связи: с инфильтрацией воды из водохранилищ, прудов, каналов, утечками вод из плавательных бассейнов, резервуаров, подземных водопроводящих сетей, неисправных водосборных лотков, ливнестоков; с нерегулируемым орошением виноградников, табачных и лесных плантаций, садов, парков, огородов; с поливами улиц, площадей, дворов, скверов; со спуском сточных вод; подпруживание поверхностного и подземного стока	Не допускается устройство искусственных водоемов на оползневых склонах, сброс атмосферных, технических и хозяйственных вод на склоны, помимо водосточной сети. Водосбросы следует доводить до моря. Регламентирование режима орошения и поливов в городах, поселках, в сельском и лесном хозяйствах. Своевременное устранение утечки воды из водопроводящей сети, резервуаров и бассейнов. Улучшение вертикальной планировки территорий, устранение застойных скоплений вод в замкнутых понижениях рельефа, на террасах лесонасаждений, виноградников, садов и парков. Контроль за исправным состоянием отмостков вокруг зданий. Улучшение конструкций, повышение качества водосбросных лотков, ливнестоков, водосборных колодцев, бассейнов, сетей водопровода, канализации, теплосети с тем, чтобы исключить возможность расстыковки, коррозии и поломки сооружений. Укладка подземных коммуникаций магистрального значения в зоне активных оползней в водонепроницаемые коллекторы. Осушение искусственно обводненных пород средствами технической мелиорации (электродренаж, электрохимическое закрепле-

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ

Генетический тип оползней	Условия и факторы оползнеобразования	Меры предупреждения и борьбы с оползнями
		ние, обжиг, транспирационная дегидратация (водорегулирующая флора), вертикальный и горизонтальный дренаж и пр.). Осуществление противоэрозионных мероприятий
Антропогенные сейсмические оползни, вызванные взрывами	Искусственные взрывы при добыче стройматериалов, проведении горных строительных работ. Динамические, вибрационные и ударные воздействия в связи с работой транспорта, машин и механизмов	Запрещение или максимальное ограничение опасных динамических нагрузок на оползневых склонах, где запас прочности близок к нулю
Полигенные (смешанные)	Одновременное и разновременное воздействие нескольких антропогенных факторов	Комплекс противооползневых мероприятий и предупредительных мер, устраняющих причинность полигенных (смешанных) оползней

Приведем отдельные примеры антропогенных оползней по ряду регионов страны.

Крым

При изучении оползней Крыма еще в конце XIX в. и в начале XX в. А. А. Борисяк, В. И. Лучицкий, А. Ф. Погребов, Д. И. Мушкетов и другие обращали внимание на геологическую деятельность человека и ее влияние на формирование оползней.

Антропогенная сфера Южного берега Крыма (ЮБК), охватывающая бо́льшую его часть, формируется под влиянием различных видов деятельности человека. Все меньше остается площади, не затронутой деятельностью человека. Это глухие ущелья, речные долины каньонного типа, северная часть крутых склонов Главной крымской гряды, резервные незастроенные, залесенные площади, расположенные в западных и осо-

ТАБЛИЦА 8

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОПОЛЗНЕЙ НА ЧЕРНОМОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ СССР

Район распространения оползней	Протяженность, км	Число оползней	% пораженности территории оползнями
Побережье Абхазской АССР	212	300	20—25 (по площади)
Сочи-Мацестинский район	30	400	19,3 (по площади)
Железная дорога Туапсе — Адлер	120	126	13 (по протяженности)
Автодорога Новороссийск — Адлер — Красная Поляна	390	600	
Побережья Крымского и Керченского полуостровов	600	553	3,8 (по площади)
Одесское побережье	110	250	–

бенно в восточных районах ЮБК. Участки территорий с наиболее концентрированным воздействием на природную геологическую среду приурочены к городам, поселкам и крупным курортным комплексам (Алушта, Карабах, Артек, Гурзуф, Никита, Массандра, Ялта, Ливадия, Кореиз, Алупка, Симеиз, Кастрополь, Мелас, Форос и др.). Как показали проведенные автором исследования, в наибольшей степени природные равновесия склонов нарушаются при городском, поселковом, курортном и дорожном строительстве и при нарушении агротехники в сельском хозяйстве.

За 10 лет (1962—1972 гг.) число антропогенных оползней на территории ЮБК, вызванных только подсечками и нагружением склонов, увеличилось с 121 до 162 (34%). В общем балансе оползней доля этого генетического типа превышает одну треть (37,7%). Антропогенное оползнеобразование наиболее интенсивно развито в Алупке, Ялте и Гурзуфе. В Алупке площадь антропогенных и природно-антропогенных оползней составляла 84% от площади всех оползней.

Причинами оползневых подвижек являются подрезка, пригрузка, обводнение, распашка склонов, взрывы в карьерах Ай-Петринской Яйлы и вибрация от транспорта.

Оползневые подвижки в сильной степени деформируют городскую застройку и подземные коммуникации. Здания, расположенные на оползнях, обычно через один-два года требуют частичного ремонта, а через три-четыре года — капитального ремонта. В пределах Центрального алупкинского оползня было деформировано

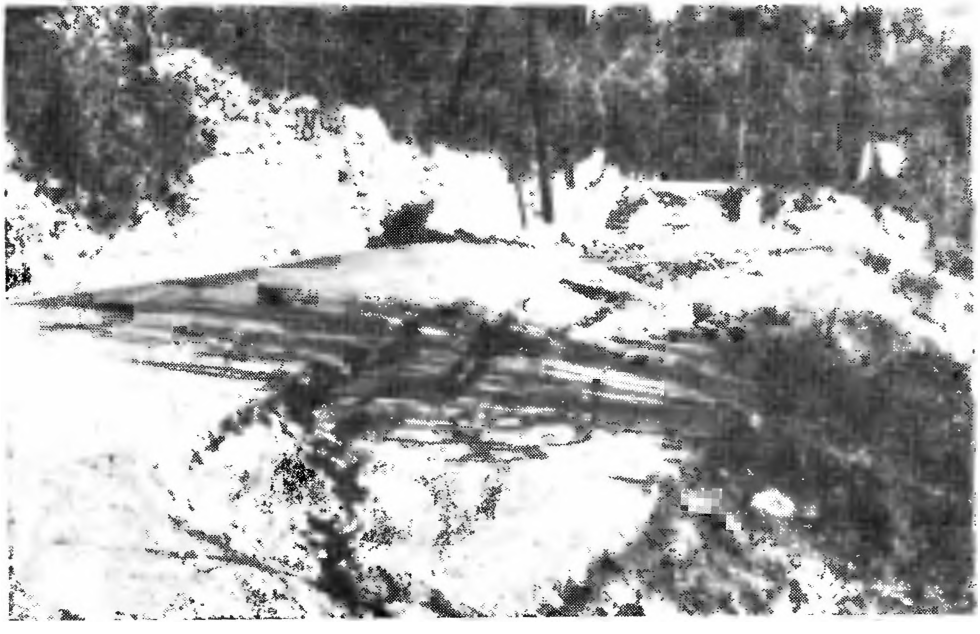


РИС. 9.
Центральный алупкинский оползень. Повреждение дороги и подпорной стены

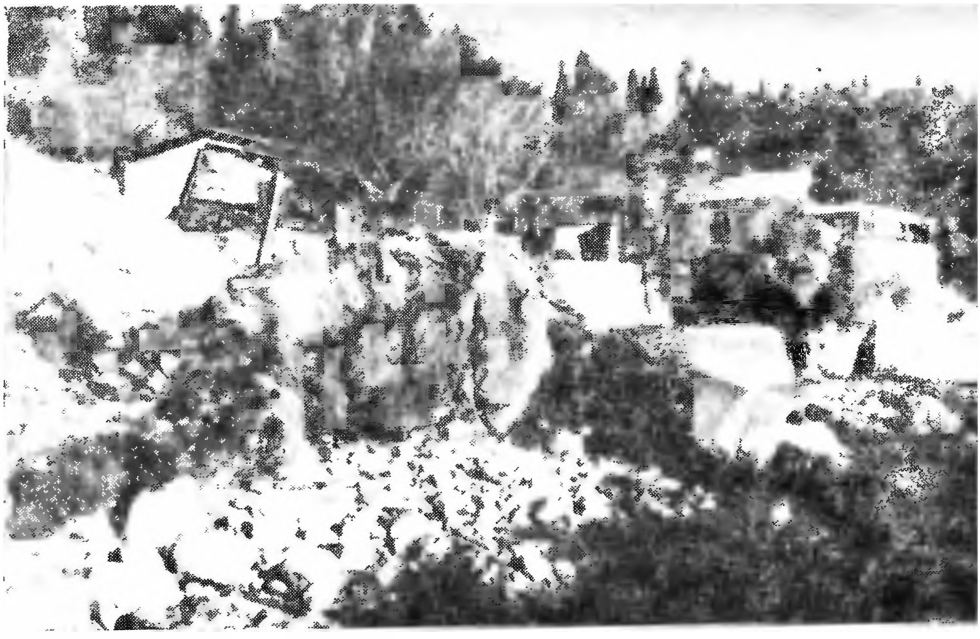


РИС. 10.
Оползневые разрушения антропогенного генезиса, Южный берег Крыма

значительное число зданий и сооружений (рис. 9, 10).

В Ялте, по неполным данным Крымской оползневой станции, за 1961—1970 гг. было зафиксировано 13 оползней, вызванных городским строительством, и 14 оползней в связи с сооружением Ялтинской объездной дороги.

В Гурзуфе в последние 10—20 лет широко развернулось поселковое и курортное строительство, которое активизировало старые и вызвало новые оползни. В 1956 г. площадь антропогенных оползней здесь составляла 45% от площади всех оползней. При строительстве автодорожного моста через р. Авунду, в частности, при устройстве насыпи, было нарушено природное равновесие грунтовых масс, что вызвало активизацию оползня и деформацию моста.

Классическими антропогенными оползнями являются дорожные оползни. Строительство авто-троллейбусной дороги, соединяющей Симферополь, Алушту, Ялту и Севастополь, послужило мощным фактором возникновения новых и активизации древних оползней. Трасса дороги проходит в сложных инженерно-геологических условиях, характеризующихся возвышенным рельефом, развитием речных долин, оврагов, древних оползней, обвалов, осыпей. При строительстве потребовалось устройство большого числа выемок глубиной до 50 м (Ласпи, Черный бугор), насыпей высотой до 40—56 м (Куркулет, Кастрополь), мостовых переходов и тоннеля.

Объем земляных работ только на участке Алушта — Ялта — Алупка длиной 60 км составил более

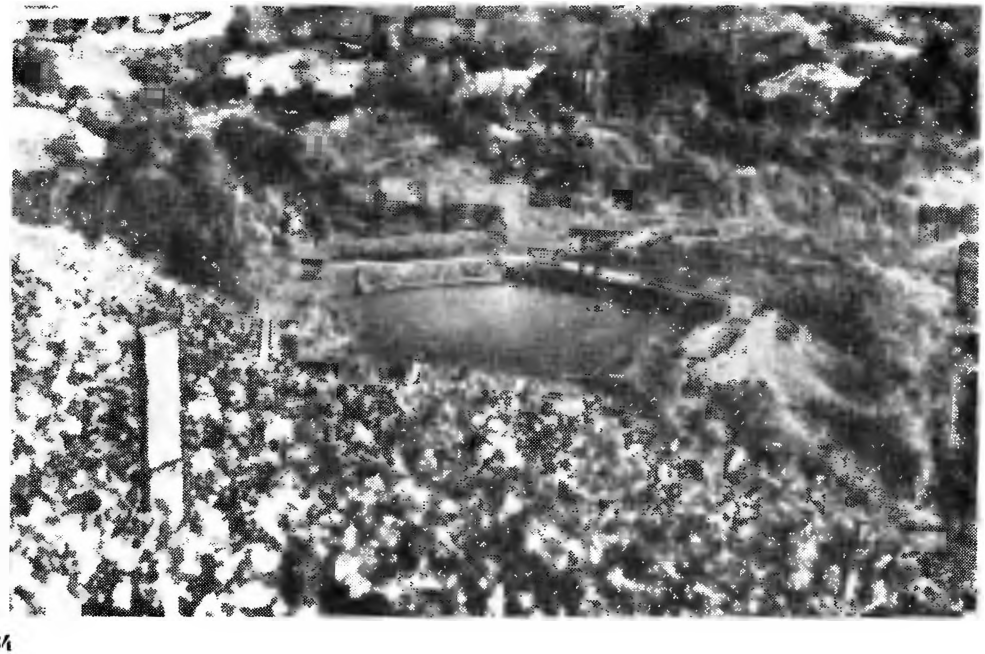
10 млн. м³. Суммарная длина подрезок на участке Алупка — Ласпи составила 50%, а на участке Алушта — Ялта — 56% от всей трассы. Суммарная длина пригрузок соответственно равна 51 и 31% трассы. С 1959 по 1971 г. на отрезке дороги протяжением 90 км возникло и активизировалось 90 оползней. Антропогенными оползнеобразующими факторами явились подрезка, нагружение и обводнение склонов (в связи с нарушением поверхностного и подземного стока при устройстве насыпей и сбросом атмосферных вод с дорог на склоны). Развитию оползней способствовали взрывы, производившиеся при устройстве выемок и в карьерах, а также вибрации от проходящего транспорта. Чаще всего оползни приурочены к насыпям.

На склонах ЮБК расположено 62 искусственных водоема объемом до 300 тыс. м³ и глубиной от 1,5 до 12 м. Одна треть этих водоемов вызвала антропогенные оползни (рис. 11).

С нарушением агротехники в сельском и лесном хозяйстве в горных условиях связано активное развитие плоскостной, линейной эрозии и оползней.

В районе от Алушты до пос. Оползневого сельскохозяйственными угодьями занято 5218 га. Преобладает продольная распашка (3092 га), поперечная составляет только 422 га, что усиливает процессы эрозии и оползнеобразования. Овраги «съедают» в Крыму значительные ценные площади. Подъем плантажа под виноградники производится на глубину около 1 м. Антропогенное оползнеобразование активизируется чрезмер-

РИС. 11.
Склоновые искусственные водоемы, вызывающие оползни (фото З. Т. Киселевой)



ными поливами при орошении. Открытая оросительная сеть имеет протяженность 138 500 пог. м. Орошение широко применяется на табачных плантациях и стало использоваться в виноградарстве. В свое время А. А. Борисяк резко осудил нарушение режима полива табачных культур, так как это активизировало оползни.

Подробнее с антропогенным оползнеобразованием в Крыму можно ознакомиться в работе Ф. В. Котлова, В. К. Епишина, З. Т. Киселевой и А. И. Снобковой [49]. Выполненные нами исследования показали, что склоны ЮБК разрушаются в настоящее время под влиянием деятельности человека значительно интенсивнее и быстрее, чем вследствие абразии и эрозии.

Черноморское побережье Кавказа

На Черноморском побережье Кавказа (ЧПК) физико-географические и инженерно-геологические условия способствуют развитию оползней. Суммарное протяжение оползневых склонов на ЧПК превышает 750 км, число оползневых массивов достигает 1500, значительная часть их имеет антропогенное происхождение.

Весьма распространены типичные антропогенные оползни, связанные со строительством, реконструкцией и эксплуатацией железных и шоссейных дорог. Гористый рельеф осложняет строительство. Трассы дорог приходилось вести в выемках, полувыемках, тоннелях и на насыпях. Так, на участке железной дороги от Туапсе до Адлера протяженностью 100 км 64 км пути пройдено в выемках и полувыемках глубиной до 40 м и 30 км — на насыпях. Общий объем земляных работ составил 8700 тыс. м^3, из них срезок — 6600 тыс. м^3 и насыпей — 2100 тыс. м^3 (на 1 км выемок и полувыемок приходилось в среднем 103 тыс. м^3 земляных работ). Строительство и эксплуатация дороги оказали влияние на окружающую геологическую среду, вызвав усиление процессов выветривания и разупрочнения пород (глинистые сланцы, мергели и др.), изменение напряженного состояния массива и понижение коэффициента устойчивости склонов. В связи с этим на указанном отрезке дороги возникло 126 оползневых участков.

В 1893 г. проводилось строительство шоссейной дороги от Новороссийска до Батуми. Она проложена выше железной дороги, в основном в полувыемках и в выемках коренных пород (глинистые сланцы, мергели, известняки и др.) и только в пониженных местах (поймы рек, низменности) на насыпях. Объем земляных работ при строительстве колебался от 200 м^3 до 200 тыс. м^3 на 1 пог. км дороги. На Пшадском перевале высота откосов выемок достигала 50 м. Подсечки, дополнительное нагружение склонов отвалами и перекрытие им выходов подземных вод, нарушение поверхностного стока, транспортные вибрации в процессе эксплуатации дорог — все это вызывало новые и активизировало старые оползни.

Размеры отдельных оползневых массивов достигают 5 тыс. м^2, мощность чаще 8—10 м. На Михайловском, Пшадском, Бжидском и Джубском перевалах В. С. Курдяковым зарегистрировано более 70 антропогенных оползней.

Очень много антропогенных оползней на ЧПК зафиксировано в Геленд-

жике, Туапсе, Лазаревском, Сочи, Адлере, Новом Афоне, Эшере, Сухуми и др. Активизация абразии, связанная с антропогенными факторами (строительство портовых сооружений, вывоз пляжевого материала и пр.), также вызвала образование оползней на ряде участков ЧПК.

После строительства Сочинского мола (1936 г.) и усиления абразии стали развиваться оползни к юго-востоку от него (на участке Приморского парка). Оползневые подвижки антропогенного типа проявляются на территории санатория им. С. Орджоникидзе в г. Сочи, что связано с подрезками склона, строительством и эксплуатацией фуникулера.

Одесское побережье

На территории Одесского побережья развиты классические и зловещие оползни. К настоящему времени в районе Одессы на площади 750 га зарегистрировано до 200 оползней, в том числе 100 оползней глубинных. Встречаются оползни на берегах моря, лиманов, на склонах некоторых балок, оврагов, Жеваховой горы. Они характеризуются различным генезисом, возрастом, геолого-литологическим строением, формой и размерами. Оползни наносят ущерб городу. Деятельность человека активизирует развитие почти всех типов оползней и даже глубинных оползней с основанием в миотических глинах, однако наибольшее влияние испытывают поверхностные оползни. Развитие поверхностных оползней на 70% связано с инженерно-хозяйст-

РИС. 12.
Оползень, вызванный антропогенными факторами, Одесское побережье

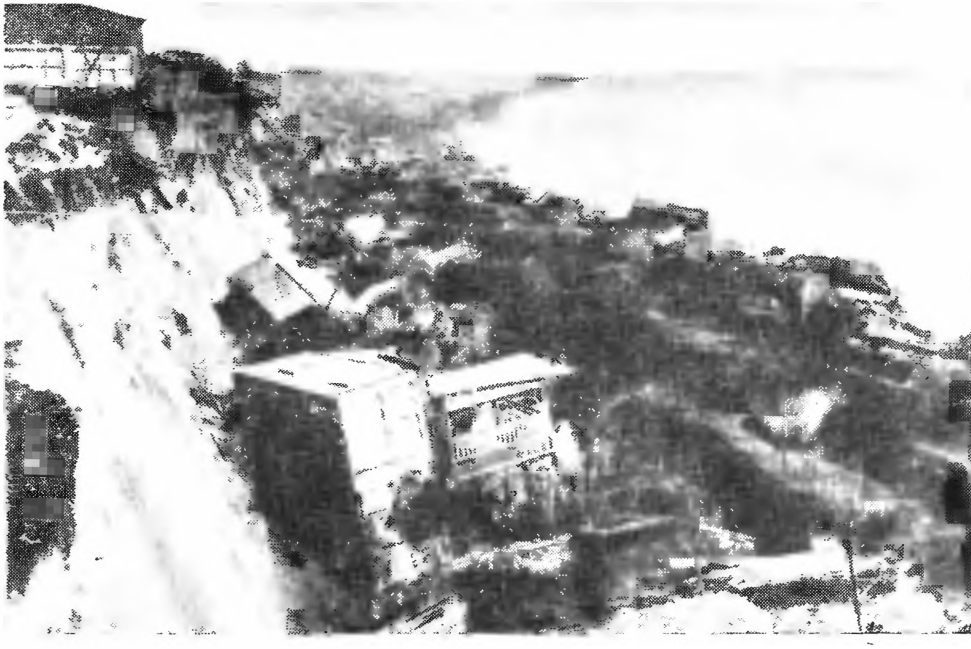


РИС. 13.
Антропогенный оползень, Одесское побережье

венной деятельностью. Человек стал активным оползнеобразующим фактором (рис. 12, 13).

Автором разработана типизация одесских оползней, дана характеристика оползнеобразующих условий и факторов, и в том числе антропогенных. Оползни могут возникать и при проведении противооползневых работ.

В Одессе выполнены в больших масштабах противооползневые и берегозащитные мероприятия, однако в отдельных местах в процессе работ возникали и активизировались оползни. По данным П. Н. Науменко [102], антропогенные деформации склонов на некоторых оползневых амфитеатрах Одессы были вызваны дефектами работ при планировке склонов. Так, на VI и VII амфитеатрах для выполаживания склонов производились срезки в прибровочной части, и породы перемещались на верхнюю часть оползневого склона. Искусственное увеличение сдвигающих сил вызывало оползневые деформации. На VI амфитеатре трещины, вертикальные и горизонтальные смещения охватили участки протяженностью в несколько сотен метров и проявились даже в подводной части склона (вал выпирания). Разрушена штольня 6, деформированы отдельные траверсы, бетонная дорога и другие строения.

Побережье Азовского моря

На абразионных берегах Азовского моря довольно часто встречаются антропогенные оползни, описанные

в работах А. И. Шеко, Л. Ф. Бирюковой, Е. Д. Брагина и др.

В Таганрогском заливе абразионные берега, пораженные оползнями, имеют протяженность до 15 км, длина отдельных оползней составляет 20—400 м. Антропогенные оползни чаще встречаются в районах наиболее плотной застройки, интенсивного промышленного, городского, поселкового, рекреационного и дорожного строительства (города Таганрог, Жданов, с. Приморское и др.).

В Таганроге автором в 1972 г. было обследовано несколько оползневых массивов, образование которых связано с деятельностью человека. В районе Мясокомбината, расположенного на коренном берегу залива, с 1965 г. наблюдаются оползневые подвижки, с которыми связаны деформации цехов и вспомогательных сооружений комбината. Из антропогенных факторов оказывают влияние: нагружение прибровочной части склона различными сооружениями и складами, сброс на склон технических вод и отходов производства, вибрация от работы компрессорной станции, антропогенная эрозия, ослабление склона в связи с устройством подземной галереи.

Поволжье

Приречные оползни отличаются от приморских условиями формирования. В числе природных оползнеобразующих факторов главным является речная эрозия.

На берегах Волги антропогенное оползнеобразование известно давно, однако широкое развитие оно приобрело в последние пятилетки в связи со строительством каскада гидроузлов и водохранилищ, городов, портов, промышленных и других сооружений в береговой зоне. Длина Волги составляет 3900 км, 1400 км берегов реки поражено оползнями, причем больше они распространены на высоком правом берегу, сложенном коренными породами каменноугольной, пермской, юрской, меловой, третичной систем и четвертичными отложениями.

Возникновение антропогенных оползней вызвано разнообразными причинами. В г. Горьком антропогенные оползни в значительной мере связаны с вертикальной планировкой, дефектами стока атмосферных вод, устройством съездов (искусственных дефиле), дорожных врезов в природные склоны. В городе в связи со значительной амплитудой отметок рельефа интенсивно развито антропогенное оврагообразование, которое вызывает оползни.

В 1974 г. в Горьком произошел крупный оползень на Окском съезде к Молитовскому мосту через Оку в выемке глубиной 30 м. Ширина оползня по низу 115 м, по верху 70 м, длина 70 м, объем 60 тыс. м^3. Причинами оползня явились значительная крутизна откоса (35—41°), выветривание пород в обнаженном откосе, увлажнение пород и др. (рис. 14). В Горьком с оползнями связаны деформации уникальных архитектурно-исторических памятников, знаменитого Нижегородского Кремля, Печерского монастыря, Рождественской церкви и других сооружений.

На рис. 15 показано обрушение Кремлевской стены, вызванное антропогенным оползнем, и восстановительные работы. Нижегородский Кремль построен Франческо Фрязиным в 1508—1513 гг. Фундаменты стен и башни заложены на коренных породах татарского яруса, склонных к оползанию. При вскрытии фунда-

ментов обнаружено их обводнение и оползневое смещение вниз по склону.

В Горьком построено более 60 дренажных штолен для осушения оползневых склонов. Многие из них (до 80%) обвалились, вышли из строя, стали не осушать, а обводнять породы склонов и тем самым превратились из противооползневых в сооружения, способствующие оползнеобразованию.

В г. Казани под воздействием Куйбышевского водохранилища в ряде мест «оживились» древние и возникли новые оползни (в районе Троицкого леса, Адмиралтейской слободы и др.).

Г. Ульяновск характеризуется развитием классических оползней волжского типа. Влияние деятельности человека на развитие оползней значительно сказалось при устройстве дорожных спусков к пристаням, шоссейных магистралей, строительстве ветки железной дороги, железнодорожного моста через Волгу и других сооружений. Естественные условия в береговой зоне значительно изменились под влиянием Куйбышевского водохранилища, активизировавшего оползневой процесс.

В 1957 г. произошел оползень в районе садов сельскохозяйственной школы, где были расположены также садовые участки. Чрезмерные поливы вызвали перенасыщение пород и заболачивание склона. Оползень типа земляного потока захватил почти весь склон сверху донизу (до Волги). Было разрушено 37 жилых домов и пострадали садовые насаждения.

В 1966 г. наблюдался абразионный оползень размером 250 150 м, вызванный геологической деятельностью Куйбышевского водохранили-

РИС. 14.
Антропогенный оползень. На переднем плане виден язык оползня и опрокинутый трамвай (фото Л. Б. Иконникова)

ща. У берегов Ульяновска высота волны водохранилища достигает 2,5 м, колебание уровня — 8 м. Абразионный размыв берега в отдельных местах достиг 13 м, чаще составляет 2—3 м в год.

Вольск можно назвать «городом на оползнях». В основании оползней залегают альбские глины. Оползнеобразование вызвано эрозией, подземными водами и деятельностью человека. В городе более 200 зданий деформировано вследствие оползней. По аналогии с понятием «пьяный лес» к г. Вольску можно применить выражение «пьяные дома».

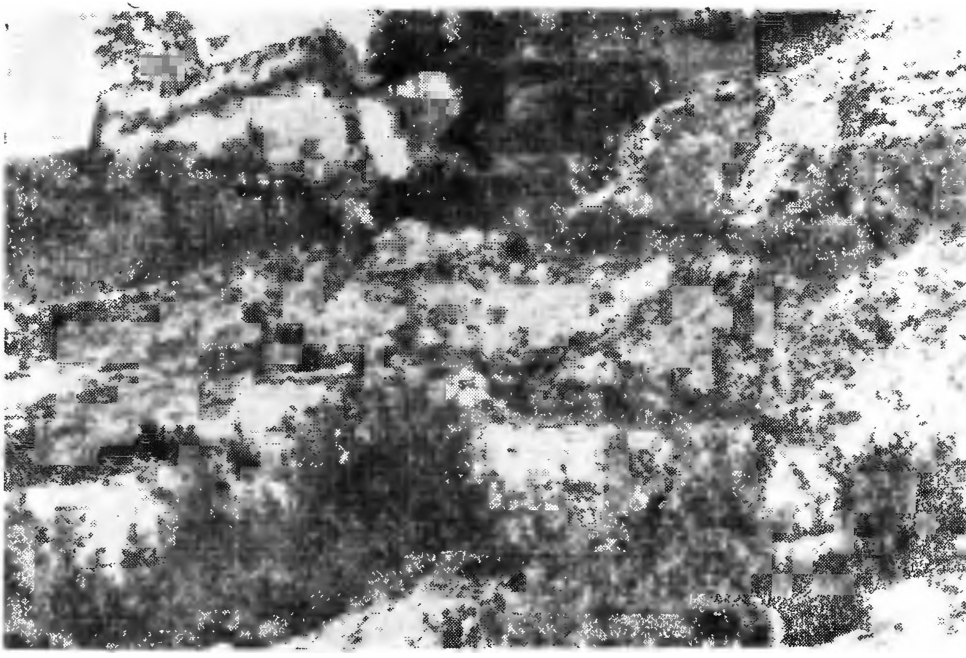


Рис. 15.
Обрушение Кремлевской стены в г. Горьком, вызванное антропогенным оползнем

Антропогенные оползни в Вольске связаны со строительством железной дороги и меловых карьеров глубиной 20—30 м (завод Коммунар), с утечками воды из подземных водонесущих сетей, поливами садов, огородов, улиц, повышением уровня воды в Волге на 5 м под влиянием Волгоградского водохранилища и др.

Антропогенное оползнеобразование распространено в районе Саратова. Крупные оползневые смещения в районе Соколовой горы в 1968 г. в значительной степени связаны с изменением природной среды под влиянием деятельности человека. Причинами явились: а) исчезновение пойменной террасы в связи с сооружением Волгоградского водохранилища; б) затопление водохранилищем берегозащитной дамбы, которая была построена поперек протоки Тарханки, вследствие чего усилился размыв правого берега; в) гидродинамический перепад при резкой сработке уровня водохранилища; г) абразия берега; д) смачивание пород водами водохранилища; е) подрезки склона; ж) обводнение склона, связанное с поливами садов, огородов, утечками воды из подземных сетей и бассейнов-фильтров, сбросом на склон сточных вод; з) перепахивание почв и пр. Оползнями снесено более 150 домов.

Широко распространены оползни в районе Волгограда. Общая протяженность оползневых берегов Волги превышает здесь 22 км, по склонам оврагов — 10 км.

По данным Нижневолжской оползневой [illegible] с 192[illegible] по 19[illegible]

в пределах города произошло 90 оползневых смещений, значительная часть которых связана с антропогенными факторами.

Молдавия

Молдавская ССР — регион активной эрозии и оползней. Склоны составляют здесь 80% территории республики. Оползни развиты на площади 36 тыс. га (1973 г.) и связаны с изменением морфологии склонов, состояния пород и гидрогеологических условий. Площадь оползней ежегодно увеличивается. Зарегистрировано и нанесено на карту более 600 оползней. Они развиваются даже при небольших уклонах местности (более 3—5°), что связано с неустойчивым состоянием и подвижностью пород (сарматские, меотические, понтические глины), широко распространены на склонах водоразделов и в значительной мере обусловлены хозяйственной деятельностью человека (нарушение агротехники в сельском хозяйстве, промышленное, гражданское, дорожное, горное и гидротехническое строительство).

Сельскому хозяйству, особенно виноградарству, оползни наносят ущерб (93% оползней приходится на сельскохозяйственные угодья). В 1973 г. активными оползнями была поражена площадь 33 991 га. Главными причинами оползней в сельском хозяйстве являются: продольная вспашка склонов, уничтожение растительности, особенно лесной, неправильное террасирование, дефекты орошения, утечки воды из водоемов (в Молдавии насчитывается 1700 водных объектов), засыпка оврагов, являющихся естественными дренажами грунтовых вод, подрезки склонов при устройстве плантажа, дорог, дефектное регулирование поверхностного стока и др. В прошлом территория Молдавии на 25% была занята лесами, теперь их осталось 5%.

Антропогенные оползни широко развиты в городах и поселках, где воздействия человека на склоны еще более интенсивны (Кишинев, Калараш и др.). В Кишиневе антропогенные оползни развиты в ряде районов города, часто они образуются на древних оползнях. В 1960 г. их было в городе всего два, в настоящее время — несколько десятков. Они установлены в ряде карьеров, около винного завода, сельскохозяйственного института, техникума госторговли, на участке нефтебазы, в Цыганской балке и других местах.

От оползней пострадал г. Калараш. В Каларашском районе в 1973 г. было деформировано значительное число зданий. Фронт оползня составил 1800 м, оползнями охвачено 30% территории города. Наряду с естественными причинами оползневые смещения вызваны массовыми подрезками склона, искусственными обводнениями (утечки, сброс сточных вод), вырубкой ореховой рощи, перегрузкой склона, дефектами стока атмосферных вод и др. Немало типичных антропогенных оползней возникает на дорогах, что вызвано подрезками, статическими нагрузками, подпруживанием стока, вибрациями.

Средняя Азия

В Таджикистане насчитывается более 3500 оползневых очагов на склонах Гиссарского, Каратегинского, Зеравшанского и других хребтов. Высота склонов в Таджикистане достигает 1000 м. Здесь распространены оползни течения, скольжения и сложные, преимущественно на склонах крутизной 20—45°. Известны оползни

грандиозных объемов (оползень на Памире в 1911 г. объемом 2,2 млрд. м³, Айнинский оползень в 1964 г. объемом 22 млн. м³. Хаитский оползень объемом 300 млн. м³ и др.), принесшие большие бедствия. Айнинский оползень произошел на склоне высотой 1400 м, крутизной 36°, сложенном палеозойскими песчаниками, сланцами и древней корой выветривания мощностью до 60 м. Оползень-поток перекинулся на 800 м на правый берег р. Зеравшан и создал подпор. Угроза затопления и разрушения нижерасположенных поселков была своевременно ликвидирована.

В настоящее время под угрозой оползней, обвалов и селей находится значительное число населенных пунктов и разных объектов народного хозяйства республики. Широко распространены антропогенные оползни, связанные со строительством и эксплуатацией дорог, каналов, горнорудных предприятий, городов, поселков, орошением земель. Антропогенные оползни Таджикистана описаны в работах В. И. Преснухина, Е. Н. Сквалецкого и др.

Отмечались антропогенные оползни на ряде угольных месторождений Средней Азии (Кок-Янгакском, Ангренском, Сулюктинском и др.), где смещались лёссовидные суглинки, осыпи коренных пород и коренные породы по плоскостям напластования. На Кок-Янгакском месторождении сместилась масса лёссовидных суглинков объемом до 350 тыс. м³, длиной 350 м, шириной 100 м.

Оползни в других районах СССР

Развитие антропогенных оползней установлено в Прибалтике, Сибири, на Дальнем Востоке, в Казахстане, Армении, Азербайджане, на Северном Кавказе, Украине, в Центрально-Черноземной области и других районах страны.

В районе Киева с деятельностью человека связано более 40% оползней, которые были детально изучены автором в 1961—1963 гг. Типичные антропогенные оползни приурочены к карьерам, число которых достигает нескольких десятков, глубина изменяется от 4 до 82 м. Наблюдаются карьерные оползни двух типов: в породах коренного залегания и в отвалах вскрышных пород.

Развитию антропогенных оползней в Киеве способствует пересеченный рельеф с разницей высот 106 м, наличие двух глинистых пластов, склонных к оползневым деформациям (бурые и пестрые глины в верхней части склонов и спондиловые глины в основании), и двух водоносных горизонтов (четвертичного и харьковского). Автором зафиксированы в пределах города десятки антропогенных оползней на склонах к Днепру и Лыбеди, в оврагах, балках, карьерах, дорожных выемках, на склонах водоразделов.

В период Великой Отечественной войны при оккупации города всей системе противооползневых мероприятий нанесен большой ущерб. Было разрушено много дренажных штолен, лотков, подпорных стен, что вызвало активизацию оползневых явлений, особенно на Центральном участке. Очень много оползней образовалось вследствие подрезки склонов. В Азербайджане в районе Баку на нефтепромыслах Кара-Чухур и других автор наблюдал оползни, вызванные сбросом на склоны нефтяных вод, водонасыщением и разупрочнением пород, подрезкой склонов при устройстве промысловых дорог и др.

Антропогенные оползни были исследованы ПНИИИС Госстроя СССР в районе г. Барнаула. На рис. 16 показан антропогенный оползень дорожного типа.

РИС. 16.
Дорожный оползень антропогенного происхождения (фото О. Н. Ларичева)

Меры предупреждения и борьбы с оползнями

Известно, что борьба с оползнями велась еще до нашей эры в древней Греции, Римском государстве и других странах мира. В России в XI—XII вв., в Киеве на территории Выдубецкого монастыря для защиты оползневого склона от разрушения была построена первая подпорная стенка. В XV -XVII вв. принимались противооползневые меры борьбы на некоторых оползневых склонах Поволжья (Нижний Новгород, Васильсурск и др.).

В 1795 г. были осуществлены противооползневые мероприятия на территории Киево-Печерской лавры: подсыпка, одернование откоса, дренирование и отвод вод. В 1883 г. в г. Одессе построена первая водосборная подземная галерея.

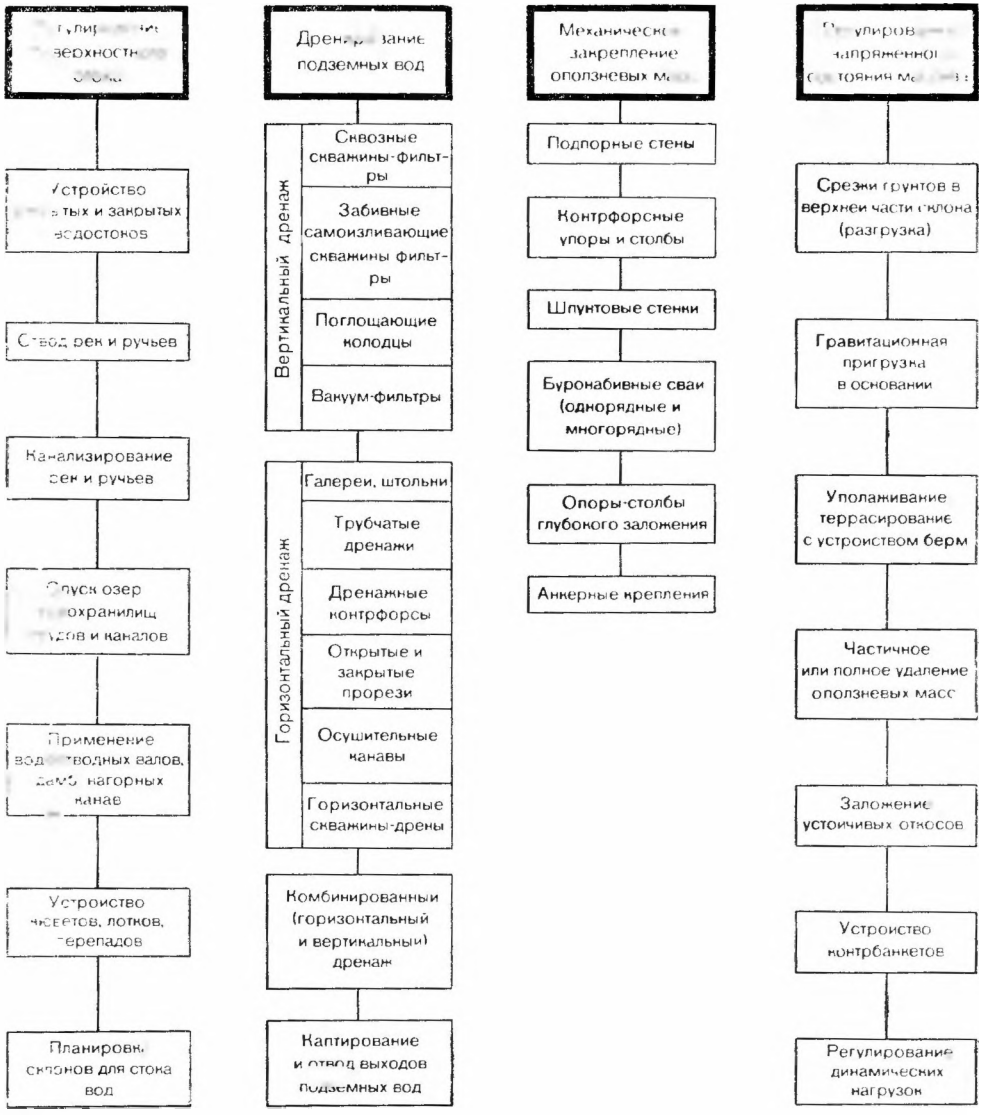
В наше время расширился фронт борьбы с оползнями. Разработаны весьма разнообразные способы и технические средства предупреждения и стабилизации оползневых склонов. Борьба с оползнями усилилась в связи с неуклонным ростом дефицита свободных для строительного и хозяйственного освоения земель, с развитием урбанизации и ростом градопромышленных агломераций.

Необходимость применения противооползневых мероприятий вызывается также ростом материального ущерба, наносимого оползнями. Однако и сейчас еще процессы оползнеобразования значительно опережают закрепление склонов, наносят ущерб народному хозяйству.

Проблема борьбы с оползнями имеет большое народнохозяйственное значение. Оползни разрушают и уродуют природную геологическую среду. Борьбу с ними следует рассматривать как улучшение окружающей геологической среды. Противооползневая мелиорация - сложное, трудное и дорогостоящее дело. Успех в предупреждении и борьбе с оползнями возможен лишь в том случае, когда выяснены причины и механизм оползневого процесса. Противооползневые мероприятия должны полностью или частично устранять главный оползнеобразующий фактор, однако следует учитывать и сопутст-

вующие факторы, которые при ликвидации влияния главного оползнеобразующего фактора могут снижать коэффициент устойчивости склона и вызывать оползневое смещение. При проектировании противооползневых мероприятий в зависимости от эко-

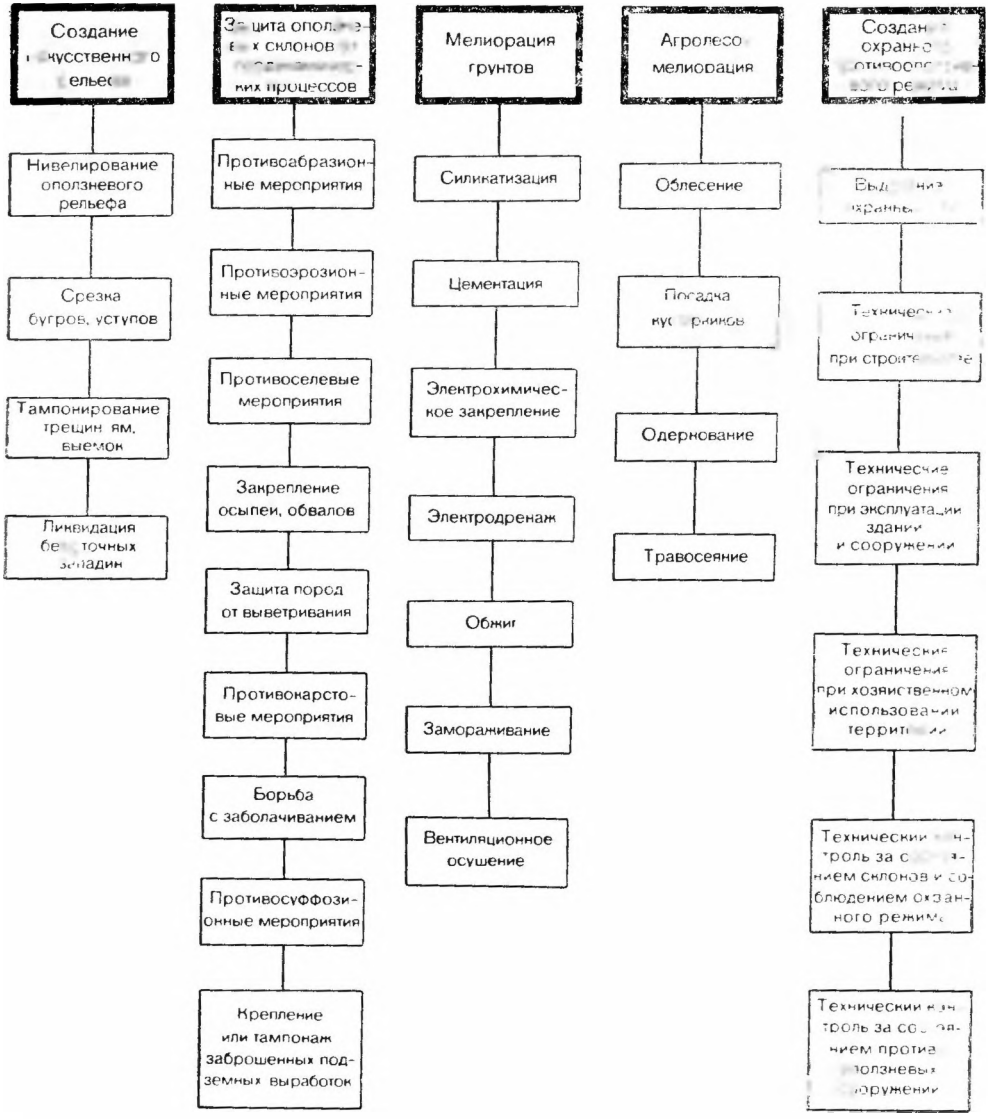
РИС. 17. Систем ротивооползневых мероприятий



номической ценности защищаемого объекта предусматривается определенный запас прочности склона и действия его во времени.

В соответствии с отечественным и зарубежным опытом предупреждения и борьбы с оползнями автором разработана систематика противооползневых мероприятий (рис. 17).

По борьбе с оползнями в ряде районов СССР выполнен большой объем работ и получены некоторые успехи. Достигнута стабилизация многих оползневых склонов в Киеве,



ТАБЛИЦА

БЕРЕГОЗАЩИТНЫЕ И ПРОТИВООПОЛЗНЕВЫЕ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЕННЫЕ НА ОДЕССКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ в 1964—1976 гг.

(по данным Одесского противооползневого управления)

Берегозащитные противооползневые сооружения	Объемы выполненных работ	
	I очередь	II очередь
Морские		
Волноломы, пог. м	5139,0	3242
Рисбермы, пог. м	556,5	675
Траверсы и буны, пог. м	2420,0	2143.1
Намыв песка, тыс. м³	516,2	447,8
Подземные дренажные		
Дренажные галереи, пог. м	3971,0	5546,5
Штольни, пог. м	1756,2	654,4
Шахтные стволы, пог. м	231,7	160,0
Дренажные скважины, шт.	204	11,0
Горизонтальный дренаж, пог. м	1361,0	50,0
Срезка и укрепление склонов		
Срезка склонов, тыс. м³	552,6	900,0
Ливневая канализация, км	7,18	4,22
Озеленение склонов, га	26,0	12,6
Подпорные стены, пог. м	127,5	2607

Москве, Ульяновске, Горьком, Одессе. Крыму, на Черноморском побережье Кавказа и в других районах СССР. Разработаны генсхемы противооползневых мероприятий для Черноморского побережья Грузии, РСФСР, УССР, в частности для Киева, Ульяновска, Волгограда и Прибалтики.

На Южном берегу Крыма выполнены берегозащитные и противооползневые работы (строительство бун, волноломов, стен, искусственных пляжей, агролесомелиорация и пр.) суммарным протяжением по побережью 17 км (1976 г.). Эти работы в Крыму обходятся дорого, примерно 2,5—5 млн. руб. 1 пог. км Борьба с оползнями в Крыму осложнена развитием трансгрессии моря, преобладанием абразионных берегов, малым распространением естественных пляжей, значительной крутизной подводного склона. Меры предупреждения и борьбы с оползнями здесь сочетаются с противоабразионными мероприятиями. В Крыму получен положительный опыт закрепления антропогенных оползней дорожного типа с применением буронабивных свай (1968—1976 гг.). Этот способ позволил стабилизировать оползни глубиной 10—20 м на 20 участках дорог.

Достигнуты определенные успехи в закреплении оползней в районе Черноморского побережья Кавказа. Здесь построено большое число разнообразных типов берегозащитных и противооползневых сооружений, которые позволили стабилизировать и ослабить активность многих оползневых склонов. Наибольшая эффективность инженерной защиты достигнута в районе Большого Сочи.

Значительные по масштабам работы выполняются на Одесском побережье с 1964 г. (табл. 9). Комплексные противооползневые мероприятия запроектированы в несколько очередей. Работы первой очереди на участке от Ланжерона до Аркадии протяжением 6,4 км окончены. Завершаются работы второй очереди от Аркадии до мыса Большой Фонтан. Изучается эффективность вы-

полненных мероприятий, поскольку многие из них должны пройти проверку временем. Одесса имеет положительный опыт «стихийной» или «пассивной» противооползневой мелиорации в районе старого порта, где в результате строительства мола, гаваней, пирсов, набережной, жилых кварталов, складов в нижней прибрежной части склона, благоустройства склонов на протяжении от ювелирной фабрики до Горсовета достигнута относительная стабилизация оползневого склона. Это связано с устранением абразии, пригрузкой основания склона массой насыпи, зданий и сооружений и пр. Опыт Одессы заслуживает внимания. В практику градостроительства следует внедрять совмещение строительства и благоустройства с противооползневой мелиорацией, когда строительство и благоустройство одновременно выполняют и противооползневые функции.

ПНИИИСом Госстроя СССР выполнены работы по изучению эффективности противооползневых мероприятий на примере Крыма и Кавказа и разработаны рекомендации по совершенствованию инженерно-геологических изысканий, мер предупреждения и борьбы с оползнями.

Гипрокоммунстроем, Фундаментпроектом, ПНИИИСом и другими организациями разработаны «Указания по проектированию защиты от оползней зданий, сооружений, населенных пунктов».

Выполненные нами исследования позволяют сделать весьма важный вывод о том, что вследствие деятельности человека в настоящее время склоны разрушаются интенсивно и быстрее. чем под влиянием природных факторов. В связи с этим недопустимо недооценивать антропогенные факторы при изучении оползней и разработке противооползневых мероприятий.

Всестороннее изучение антропогенных оползней, их специфических особенностей, физической природы и механизма, разработка методов их расчета, прогноза, мер предупреждения и борьбы с ними являются важнейшей задачей инженерной геологии.

Детальные исследования антропогенных оползней служат основой нового научного направления в оползневедении.

ЭРОЗИЯ

Водная эрозия представляет собой наиболее распространенный экзогенный геологический процесс. Масштабы эрозии и ущерб от нее колоссальны. По данным А. Геррэна, за последнее столетие эрозия и дефляция уничтожили на Земле около 2 млрд. га почв, площадь, почти равную территории СССР, составляющую 15% от площади суши, 27% от земель сельскохозяйственного пользования.

В СССР эродированные земли составляют около 165 млн. га, площадь с развитием оврагообразования — 50 млн. га, собственно оврагами занято 6 млн. га. Площадь оврагов и промоин ежегодно увеличивается на 100 тыс. га, сильно смытых земель — на 200 тыс. га, всех эродированных земель — на 1 млн. га. Эрозия снижает урожайность в среднем на 20—40% [3, 84, 148].

На развитие эрозии решающее влияние оказывают следующие факторы и условия: 1) климат; 2) рельеф (геоморфологический тип, амплитуда отметок, расчлененность, крутизна, форма, протяженность, экспозиция); 3) растительный покров; 4) почвенный покров; 5) грунты; 6) поверхно-

стный сток (мощность, скорость течения, скорость размыва); 7) геодинамические рельефообразующие процессы; 8) хозяйственная деятельность человека. Взаимодействие факторов, относительная роль каждого из них в эрозионном процессе контролируются зонально-климатическими, регионально-геологическими условиями и характером деятельности человека. Механизм эрозионного процесса довольно сложный. По мнению Д. Л. Арманда, эрозия начинается со сдвига текучей водой частиц почвы и грунта, когда давление воды на твердую частицу становится больше сил сцепления ее с грунтом, трения и сопротивления воздействию воды.

Различают естественную и антропогенную эрозию. Антропогенная эрозия вызвана воздействием человека на землю, нарушением ее естественного состояния. Человек активизирует или создает вновь факторы и условия, образующие эрозию.

К факторам и условиям, формирующим антропогенную эрозию, относятся:

1) изменения рельефа — подрезка склонов, устройство выемок, строительство насыпей, укладка горных и промышленных отвалов, вертикальная планировка местности, военный микрорельеф;

2) изменения растительности — вырубка лесов, уничтожение зеленых насаждений, уничтожение травяного покрова, лесные пожары;

3) изменения почв и грунтов — распашка земель, бороздование вдоль склона, распашка ложбин и балок, пахота вплотную к бровке оврагов и балок, дефектные севообороты, иссушение почв и грунтов;

4) изменения поверхностного стока — создание антропогенной гидрографической сети, увеличение водности рек, прорыв и утечка вод из каналов и водохранилищ, критические скорости в каналах и оросительной сети, чрезмерные поливы, искусственное понижение базисов эрозии, заторы при лесосплаве на реках, дефекты в регулировании стока, сброс на склоны сточных вод;

5) изменения микроклимата — увеличение атмосферных осадков, усиление ветров, резкие колебания температуры;

6) сопутствующее влияние антропогенных геологических процессов — выветривание, оползни и оплывины, сели, обвалы, осыпи, деградация многолетней мерзлоты, солифлюкция, карст и др.

В зависимости от местоположения, характера и генезиса эрозии автор выделяет классы и виды антропогенной эрозии. К классам относятся поверхностная, подземная, плоскостная и линейная эрозии. В зависимости от характера деятельности человека выделяются следующие виды эрозии: земледельческая, пастбищная, лесных вырубок и посадок, лесных пожаров, селитебная (городов и поселков), горнопромышленная, военная, ирригационная, судоходных каналов, дорожная. Следует отметить, что земледельческая, пастбищная, лесных вырубок и посадок, селитебная, горнопромышленная и военная эрозии могут совмещать плоскостную и линейную.

К формам эрозионного рельефа относятся борозда, промоина, рытвина, ложбина, овраг (приводораздельный, береговой, донный, висячий, отвершковый, первичный, вторичный, древний, современный), долина. Общепринятая терминология эрозионных форм рельефа отсутствует.

Распространение и краткая характеристика различных классов и видов антропогенной эрозии

Подземная эрозия

Подземная эрозия — явление редкое, она развита ниже поверхности земли и приурочена к подземным линейным сооружениям, трещинам, кротавинам в массиве пород. Проявляется лишь на участках совпадения направлений подземного потока (с большими скоростями) и линейных сооружений. в местах неплотного стыка подземных сооружений с водопроницаемыми рыхлыми грунтами. Подземная эрозия наблюдается также в легко размываемых лёссовых грунтах, брекчиях грязевых вулканов и в краевых частях склонов.

Автор наблюдал и исследовал это явление на склонах речных долин, балок и оврагов в районах распространения лёссовых грунтов (Одесса, Киев и др.), а также в конусах грязевых вулканов (Апшерон). На рис. 18 показано проявление подземной эрозии в г. Перми

Плоскостная эрозия

Плоскостная эрозия приобрела грандиозные размеры, что связано главным образом с развитием земледелия. Земельные угодья составляют в мире 4425 млн. га, из них под пашней занято 1424 млн. га (1970 г.). Ежегодно перепахивается и дезинтегрируется 6 км³ земли. В СССР

РИС. 18.
Провальная воронка на уличном проезде, образовавшаяся в результате подземной антропогенной эрозии (фото Л. Б. Иванцова)

сельскохозяйственные угодья занимают 47% земельного фонда, в том числе пастбища — 54%, пашня — 37%, сенокосы — 8%, сады и виноградники — 1% [132].

Широко развита эрозия в Молдавии, чему способствует всхолмленный рельеф, размываемость грунтов и большое распространение оползневых процессов. Площадь эрозионноопасных земель на склонах крутизной более 2° составляет 1200 тыс. га.

В Мордовской АССР водной эрозией охвачено около 60% пашни, 25% пастбищ, 8% сенокосов (1974 г.). В Белорусской ССР эрозии подвержено около 60,0% территории.

В населенных местах развитие плоскостной эрозии ограничивается застройкой и применением искусственных покрытий, зелеными насаждениями, регулированием поверхностного стока с помощью водосточных систем, снегоуборкой и другими воздействиями на природную среду. Наиболее активный размыв наблюдается в мелкодисперсных слабо связных отложениях.

Линейная эрозия

Оврагообразование. Овражная эрозия является распространенным экзогенным геологическим процессом. Овраги — «язвы земли», они наносят колоссальный ущерб народному хозяйству.

Оврагообразование развито почти во всех природных зонах Земли, но неравномерно. Б. Ф. Косовым и Г. С. Константиновой [57] составлена комплексная карта овражности равнинной территории СССР, где показано не только распространение оврагов, но и степень овражного расчленения территории, основанного в отличие от ранее составленных карт на сочетании двух показателей: плотности оврагов (число оврагов на единицу площади) и коэффициента их протяженности (в км/км²).

Многие исследователи (Сильверстов [148], Миронова [98] и др.) считают оврагообразование в преобладающей части антропогенным рельефообразующим процессом, поскольку наибольшее распространение овраги имеют в обжитых районах, с развитым земледелием, большим числом городов и поселков, горнопромышленных предприятий, т. е. там, где человек активно воздействует на рельеф, растительность, почвы и грунты, что создает благоприятные условия для развития эрозии.

С. Н. Сильверстов [148] предложил под словом «овраг» понимать лишь антропогенное образование и рекомендовал изъять из употребления термин «овраг» применительно к естественноисторическим эрозионным образованиям. По мнению этого автора, оврагами и промоинами следует называть только современные, антропогенные размывы, возникшие в результате нарушения естественной эволюции форм рельефа и требующие закрепления. Бо́льшая часть оврагов на территории нашей страны имеет возраст не более нескольких веков и связана с историей сплошного земледельческого освоения территории [148].

Значительный интерес представляет составленная Е. А. Мироновой Схематическая карта овражности территории СССР, опубликованная в 1971 г. [98]. На ней показана степень овражности по семибалльной системе и выделено 69 районов; в описании карты освещена роль зональных географических и антропогенных факторов в формировании овражной эрозии (рис. 19).

Прослеживается взаимосвязь овражности с рельефом, лесистостью и особенно с распаханностью земель.

На территориях слабой овражности (2 балла), занимающих 132.4 млн. га, распаханность составляет всего лишь 8,3%, тогда как на территориях, очень сильно пораженных оврагами (6—7 баллов), распаханность наибольшая — 66—67%.

Исследованиями последних лет все больше доказывается антропогенный характер оврагообразования. Ранее считалось, что оврагообразование является естественным геологическим процессом, подчиняющимся географической зональности, — минимальное развитие оврагов в лесной зоне и максимальное — в степной и лесостепной.

После того как были проведены исследования овражной эрозии в различных географических зонах, на территориях, не затронутых хозяйственной деятельностью человека, стала выясняться азональность этого явления. Естественная овражная эрозия, по данным Б. Ф. Косова [56], проявляется во всех географических зонах от тундры до пустыни, однако интенсивность ее весьма неоднородна. Широкое развитие овражной эрозии в степной и лесостепной зонах вызвано не столько зональными условиями, сколько влиянием антропогенных факторов. Экстенсивное сельскохозяйственное использование земель в прошлом, а также недостаточное применение противоэрозионной мелиорации в современный период являются основным причинным фоном для развития овражной эрозии.

По данным Е. А. Мироновой [98], суммарная протяженность оврагов в СССР приближенно равна 1,7 млн. км. Наибольшая протяженность оврагов (80%) приурочена к возвышенным равнинам, составляющим две трети всей земледельчески освоенной территории. Есть все основания считать антропогенную эрозию экзогенным геологическим процессом регионального и глобального значения.

Скорость роста оврагов зависит от интенсивности оврагообразующих факторов. По данным автора и литературным сведениям, максимальная скорость достигает десятков метров в год (например, в Тюменской области до 90—100 м/год), чаще составляет несколько метров в год.

Антропогенный характер овражной эрозии наиболее ярко выражен на городских территориях и в пригородах, где причиной образования и роста оврагов служат подрезка и распашка склонов, устройство различных выемок, уничтожение растительного покрова, сброс сточных вод и снега в овраги, размывы поверхностных пород при утечках воды из водопроводной, водосточной и канализационной сетей. В городах и поселках человек наносит больше «ран» поверхности земли (рис. 20, 21, 22). Появились новые термины: «селитебная» и «городская» эрозия.

В городах процесс эрозии развивается одновременно в двух противоположных направлениях: активизации и ослабления эрозии. Овраги растут, возникают вновь и ликвидируются в связи с благоустройством города.

Скорость развития оврагов в городах выше, чем в окрестностях. Например, в пределах городской территории в Волгограде овраги растут со скоростью 7—8 м/год. а в окрестностях — 3—4 м/год.

Территория ряда городов в нашей стране значительно повреждена оврагами. В городах Поволжья овражно-балочная сеть занимает 10—30%.

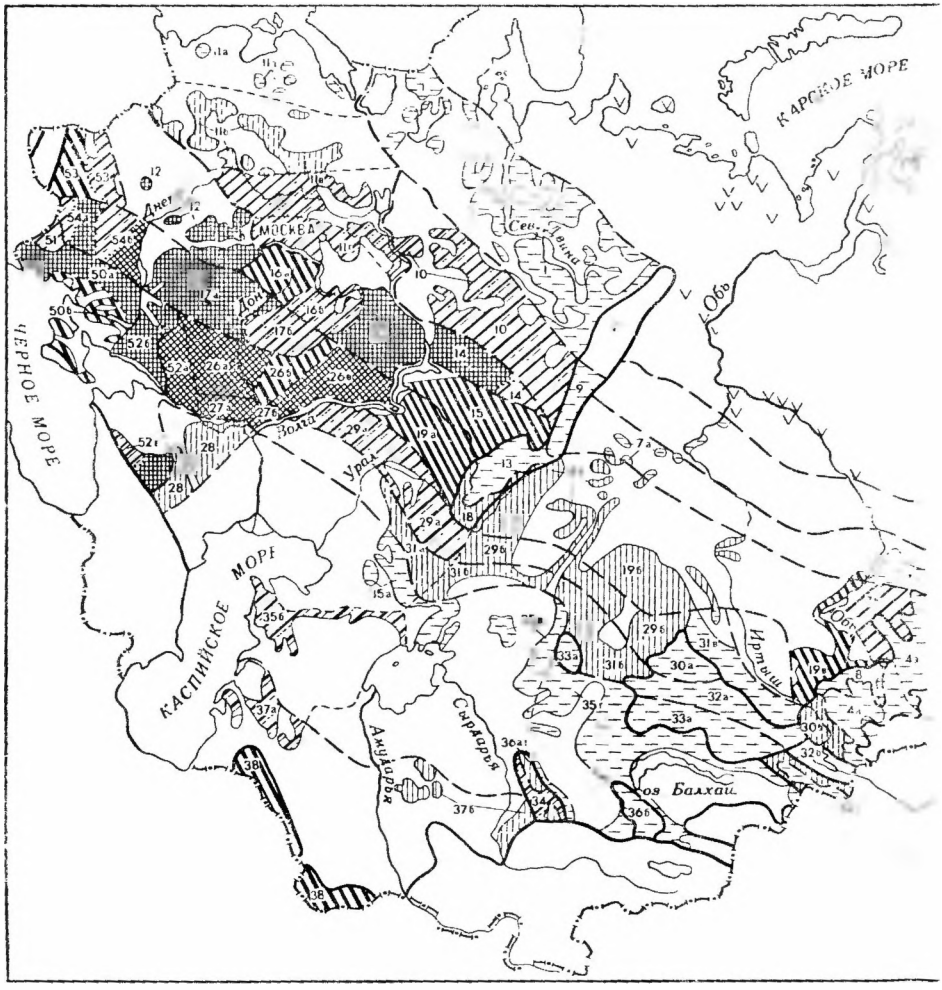


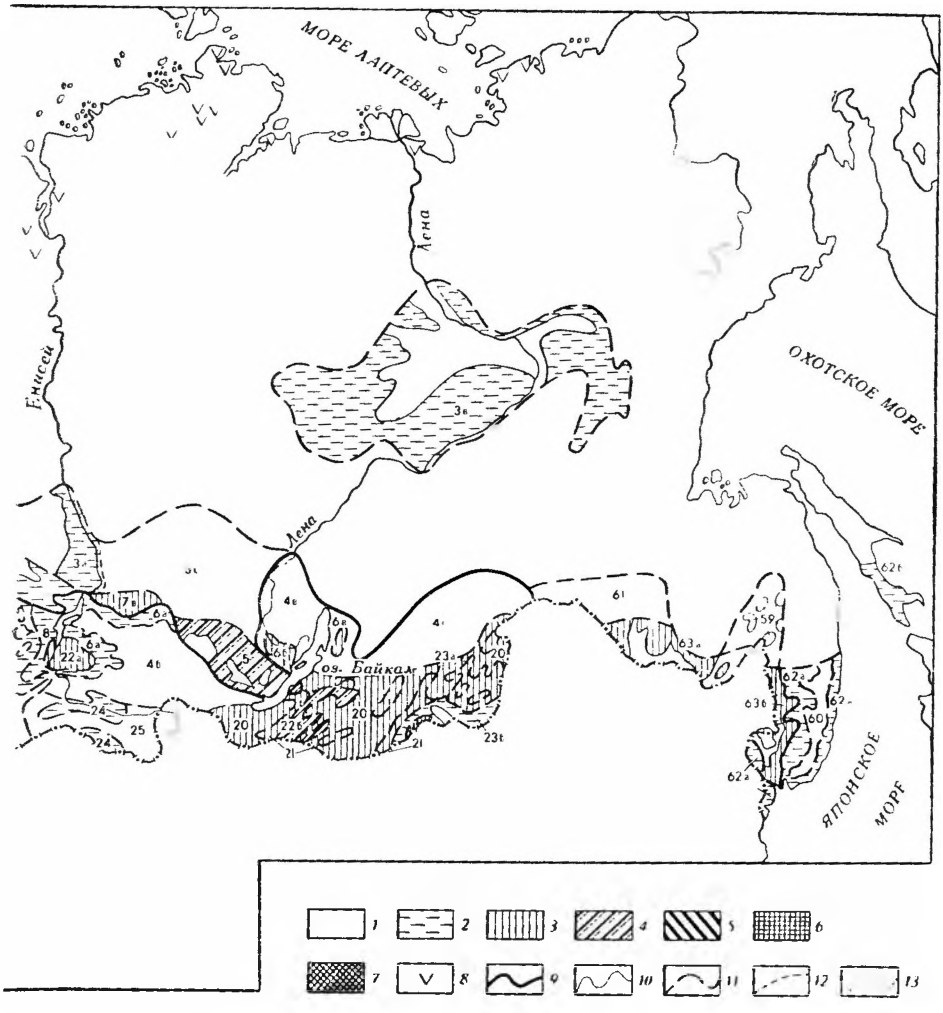
РИС. 19.

Схематическая карта овражности территории СССР (по Е. А. Мироновой).

1 — оврагов нет, балл 1; *2* — овраги встречаются единично, балл 2; *3* — овражность слабая, балл 3 (0,07 км/км²); *4* — овражность умеренная, балл 4 (0,10 км/км²); *5* — овражность значительная, балл 5 (0,15 км/км²); *6* — овражность сильная, балл 6 (0,22 км/км²); *7* — овражность очень сильная, балл 7 (0,33 км/км²); *8* — овраги встречаются единично в северных неземледельческих районах.

Границы: *9* — гор и равнин; *10* — возвышенностей и низменностей; *11* — районов систем борьбы с эрозией; *12* — подрайонов систем борьбы с эрозией; *13* — участков с разной густотой оврагов.

Районы: *1* — Северо-Европейский возвышенный; *2* — Северо-Уральский горный; *3а*, *3б*, *3в* — Ангаро-Енисейско-Ленский возвышенный; *4а*, *4б*; *4в*, *4г* — Алтайско-Саяно-Байкальский средневысокогорный; — Ангаро-Окский возвышенный *5а*, *6б*, *6в* — Саяно-Байкальский низкогорный, *7а*, *7б*, *7в* — Обско-Енисейский возвышенный *8* — Алтайско-Кузнецко-Алатауский низкогорный; *9* — Средне-Уральский горный; *10* — Сухоно-Верхне-Камский возвышенный, *11а*, *11б* *11в*, *11г* — Белорусско-Валдайско-Московский возвышенный; *12* — Приенисейский возвышенный. *13* — Южно-Уральский среднегорный. *13* — Вятско-Камский возвышенный; *15* — Камско-Уфимский возвышенный; *16а*, *16б*, *16в* — Окско-Волжский возвышенный: *17а*, *17б* — Днепровско-Донской возвышенный: *18* — Южно-Уральский низкогорный; *19а*, *19б*, *19в* — Заволжско-Западно-Сибирский возвышенный; *20* — Забайкальский среднегорный; *21* — Забайкальский низкогорный, *22а*, *22б* — Минусинско-Селенгинский возвышенный: *23а*, *23б* — Ононо-Аргунский возвышенный; *24* Тувинский возвышенный; *25* — Тувинский горный; *26* — Донецко-Хоперский возвышенный; *27а*, *27б* — Чирско-Иловлинский возвышенный; *28* — Восточно-Ставропольско-Ергенинский возвышенный. *29а* *29б* — Сыртово-Тургайский возвышенный *30а* — Северный мелкосопочный



и Алтайскии низкогорный; *31а, 31б, 31в* — Мугоджреско-Приртышский возвышенный; *32а, 32б* — Центральный мелкосопочный и Тобагатайский низкогорный; *33а, 33б* — Южный мелкосопочный и Тарбатагайский р днегорный; *34* — Каратауский низкогорный; *35а, 35б, 35в, 35г* — Каспийско-Аральско-Балхашский возвышенный; *36а, 36б* — Каратауско-Чу-Илийский горный; *37а, 37б* — Красноводско-Кызылкумский возвышенный; *38* — Копетдагско-Карабильский горный; *39а, 39б* — Джунгарский и Киргизско-Илийский среднегорный; *40а, 40б* — Иссыккульский и Внутреннетяньшанский среднегорный; *41а, 41б, 41в, 41г* — Чаткальско-Алайско-Зеравшанско - Таджикский среднегорный; *42* — Бадахшанский среднегорный; *43* — Восточно-Грузинский низкогорный; *44а, 44б, 44в* — Дагестанско-Закатальско-Мало-Кавказский низкогорный; *45* - Джавахетский среднегорный; *46а, 46б, 46в, 46г* — Дагестанско-Кубанско-Мало-Кавказский среднегорный; *47а, 47б, 47в, 47г* — Восточно-Закавказско-Талышский среднегорный; *8* — Крымский среднегорный *49а, 49б* — Крымский низкогорный; *50а, 50б* — Южно-Украинско-Северо-Крымский возвышенный; *51* — Кодринский возвышенный; *52а, 52б, 52в* — Днепровско-Ставропольский возвышенный; *53* — Западно-Украинский возвышенный; *54* — Уральский правобережный возвышенный; *55а, 55б, 55в, 55г* — Карпатско-Северо-Кавказский низкогорный; *56а, 56б, 56в, 56г, 56д* — Карпатско-Кавказско-Аджаро-Имеретинский среднегорный; *57* — Западно-Кавказско-Черноморский низкогорный; *58а, 58б* — Западно-Грузинский и Талышский низкогорный; *59* — Амурско-Уссурийский возвышенный; *60* — Южно-Сихотэ-Алинский среднегорный; *61* — Амурско-Зейский возвышенный; *62а, 62б* — Южно-Сихотэ-Алинский и Южно-Сахалинский низкогорный; *63а, 63б* — Зейско-Буреинско-Приханкайский возвышенный.

Горные территории: *А* — Карпаты; *Б* — Крым; *В* — Кавказ; *Г* — Средняя Азия. Примечание. Выделенные при районировании горные районы *55—58* — на карте не показаны

РИС. 20.
Растущий овраг в лёссовых грунтах, вплотную подходящий к застройке

Интенсивное оврагообразование наблюдается в Горьком, Ульяновске, Саратове, Днепропетровске, Курске, Брянске, Харькове, Ставрополе и др.

Дорожная эрозия. Некоторые исследователи (Б. Ф. Косов и др.) выделяют дорожную эрозию как один из видов линейной эрозии. Эрозионные борозды, рытвины, овраги образуются в дорожных незакрепленных выемках, насыпях, кюветах (рис. 23). Известны примеры развития дорожной эрозии в Крыму, на Кавказе, севере страны и др. Этот процесс связан с бурным развитием дорожного строительства. В СССР в 1975 г. суммарное протяжение дорог превысило 1,9 млн. км.

Ирригационная эрозия – широко распространенный антропогенный геологический процесс связанный с интенсивным развитием ирригации. Суммарная площадь орошаемого земледелия в мире в 1975 г. превышала 225 млн. га, в СССР – 15 млн. га.

Причинами ирригационной эрозии служат: неправильное водопользование, большая подача воды, значительные уклоны ирригационных каналов и борозд на склонах, в результате чего происходит смыв, размыв и намыв почв. Чаще размывается дно каналов и борозд на склонах с уклоном более 0,005—0,008.

По данным обследования оросительных систем Азербайджана, Армении, Украины, Поволжья, Ростовской области и Краснодарского края ирригационная эрозия при современной технике полива развивается на площадях со средними и большими уклонами (0,004—0,01 и выше).

На Украине за короткий период орошения (один-два полива) смыв почв достигает 40—200 т/га. За вегетационный период (пять-шесть поливов) на площадях с большим уклоном смывается до 200—1000 т/га почвы. При такой скорости эрозии за 20—25 лет может быть размыт весь гумусовый слой [82] Возникают рытвины и даже овраги, затрудняется использование механизмов.

В Таджикской ССР потенциально опасные площади для развития ирригационной эрозии составляют 60%. В орошаемой зоне Узбекской ССР площадь земель, подверженных ирригационной и ветровой эрозии, составляет 0,5 млн га. Ежегодно теряется от ирригационной эрозии в среднем 100 т/га почвы.

В Самаркандской области на площади 173.4 тыс. га посева хлопчатника более 100 тыс. га подвержено

РИС. 21.

Эрозия склона террасы, вызванная уничтожением растительности ядовитыми сернистыми выбросами суперфосфатного завода (фото Л. Б. Иванцова)

РИС. 22.

Сочетание эрозионного и оползневого процессов. Рост оврага и развитие оползня вызваны сбросом сточных вод, г. Волгоград (фото Н. А. Самуси)

РИС. 23.
Дорожная эрозия (размыв кювета)

ирригационной эрозии, в основном легко размываемые почвы на склонах, при нарушениях техники полива.

При увеличении расхода воды в борозде до 0,1 л/с вынос частиц достигает 20,2 г/л. За год выносится от 58 до 173 т почвы с 1 га, в связи с чем снижается урожайность. При расположении поливных борозд вдоль склона при крутизне до 5° возникают водороины.

Речная эрозия. Деятельность человека активизирует или ослабляет речную эрозию. Усиление речной эрозии происходит под влиянием следующих воздействий: увеличения водности рек, спрямления русел и увеличения скорости речного потока, сброса в речную сеть сточных вод, искусственного понижения базисов эрозии (антропогенное понижение уровня морей, спуск озер и водохранилищ), волнообразования от судоходства, заторов на реках при лесосплаве, размывов в нижних бьефах плотин (усиление эрозии в 10 раз и более).

Ослабление речной эрозии происходит при искусственном повышении базиса эрозии, канализировании мелких рек и ручьев (достигается полное прекращение эрозии), создании бетонных лотков, набережных и облицовки берегов, укреплении берегов растительностью, намыве и насыпке грунтов на пойменных террасах, создании искусственных пляжей, строительстве струенаправляющих дамб.

Основные закономерности развития антропогенной водной эрозии

В системе геологических процессов, связанных с деятельностью человека, антропогенную водную эрозию следует считать наиболее распространенным процессом. Эрозия — глобальный многофакторный геологический процесс, охвативший бо́льшую часть планеты. Водная эрозия как естественный экзогенный геологический процесс в связи с развитием хозяйственной деятельности человека стала все больше принимать антропогенные черты.

В формировании эрозии исторически возрастала роль антропогенных факторов. В наш век эрозия в преобладающей своей части стала антропогенным геологическим процессом. Примером могут служить плоскостной смыв почв и овражкообразование.

Наибольшее распространение имеют плоскостная и особенно земледельческая и пастбищная эрозии, развитые на огромных площадях планеты (сотни миллионов га), менее распространена линейная эрозия.

Антропогенная эрозия вызывается сочетанием природных и антропогенных факторов и условий. В развитии ее проявляется зональность и азональность (интразональность). При сходных природных условиях, но при разной хозяйственной освоенности территории антропогенная эрозия будет иметь различную степень развития. Эрозия слабо развита в районах, не затронутых деятельностью человека.

Эрозия усиливает геологические процессы заиления и обмеления естественных и антропогенных водоемов, аккумуляции осадков, образования пляжей, отмелей, кос и островов.

Меры предупреждения и борьбы с эрозией

Большое влияние на развитие противоэрозионных мелиораций в СССР оказало постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 20 марта 1967 г. «О неотложных мерах по защите почв от ветровой и водной эрозии».

Противоэрозионные мероприятия осуществляются в нашей стране на площади более 30 млн. га пашни. Нуждаются в защите от ветровой и водной эрозии 185 млн. га пашни, 85 млн. га пастбищ и сенокосов. В СССР накоплен огромный опыт и разработаны научные основы предупреждения и борьбы с эрозией. Способы и технические средства борьбы с эрозией группируются по четырем основным направлениям: 1) организационно-технические противоэрозионные мероприятия; 2) лесомелиоративные; 3) гидротехнические и 4) агротехнические.

Отметим важность картирования и районирования территорий СССР по различным показателям эрозионной опасности. В СССР и за рубежом составляются следующие виды карт: распространения оврагов, основных эрозионных факторов и условий, крутизны склонов, глубины местных базисов эрозии, густоты расчленения рельефа, твердого стока и мутности рек, районирования по степени эрозионной опасности, размываемости почв и грунтов и др.

Необходимо шире привлекать геологов и изыскателей к составлению карт и генеральных схем противоэрозионной защиты территорий.

АБРАЗИЯ

Абразия — широко распространенный экзогенный геологический процесс размыва и разрушения морских

и озерных берегов. Протяженность берегов океанов, морей и озер колоссальна. Суммарная протяженность морских берегов в СССР составляет 43 тыс. км, берегов водохранилищ — 50 тыс. км.

Абразия — многофакторный геологический процесс, зависящий от геоморфологического строения и геодинамического состояния побережья, размываемости пород, климата, гидрологического режима моря и характера деятельности человека.

Абразия в преобладающей своей части стихийный, трудно управляемый процесс, развитый в зоне взаимодействия моря и суши. В его формировании участвуют мощные естественные силы, такие как тектонические опускания (трансгрессия моря), поднятия суши (регрессия моря), морское волнение (штормы, прибой), течения и пр. Однако в последнее время все больше стало учитываться воздействие человека на этот процесс, имеющее два направления: усиление и ослабление абразии. Различают береговую и донную абразию. Последняя менее интенсивна, хотя размыв донных грунтов достигает нескольких десятков метров, а в океанах — 100 м и более. В северных морях (в зоне многолетней мерзлоты) выделяют термоабразию — размыв и разрушение морем мерзлых пород.

Абразия — глобальный процесс, и масштабы ее огромны. В США около 52% Атлантического побережья подвержено интенсивной абразии. Ежегодный материальный ущерб от абразии составляет 150 млн. долларов. Скорость размыва на отдельных участках превышает 6 м/год. Стоимость защиты берегов, подверженных размыву, протяженностью 4320 км оценивается в 1,8 млрд. долларов (работы рассчитаны на 15 лет), а неотложные работы — в 900 млн. долларов.

Япония — морская страна — сильно страдает от абразии, уничтожения пляжей. В стране насчитывается 600 морских пляжей общей площадью 48 млн. м². Ежегодно смывается морем 1400 тыс. м² побережья. Береговая линия на отдельных участках отступила за последние 25—30 лет на сотни метров. По данным Управления окружающей среды, 21% береговой линии Японии разрушен в результате строительства и производства, в том числе разрушено 80% берегов Токийского залива, 73% Осакского залива и 49% залива Исэ.

В СССР абразия распространена на берегах Черного, Азовского, Каспийского, Балтийского и др.

На обследованных участках Черноморского побережья СССР протяженностью 1290 км сильной абразией поражено 492 км (38%), слабой абразией — 469 км (35%), стабильные берега составляют 329 км (27%).

Более подробные сведения о состоянии берегов отдельных районов Черноморского побережья даны в табл. 10 (данные ВСЕГИНГЕО)

На восточном побережье Азовского моря скорость отступания береговых обрывов, по данным 1972 г., составляла от 1,8 до 2,3 м/год. Общий объем размытого глинистого материала превысил 2,3 млн. м³. Морская абразия, активизированная деятельностью человека, приобрела широкое региональное распространение и наносит большой ущерб народному хозяйству.

Рассмотрим подробнее влияние антропогенных факторов на абразию. Автором систематизированы прямые и косвенные антропогенные факторы и условия, активизирующие и ослабляющие абразию (рис 24).

ТАБЛИЦА 10

РАСПРОСТРАНЕНИЕ АБРАЗИИ НА ЧЕРНОМОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ СССР

Район	Протяженность берега, км	Сильный размыв, км (%)	Слабый размыв, км (%)	Стабильные участки, км (%)
Псоу — Чорох (Грузинская ССР)	320	117 (36,6)	74 (23,2)	129 (40,2)
Туапсе — Адлер (РСФСР)	120	15 (12,5)	65 (54,2)	40 (33,3)
Крым	600	200 (33,3)	300 (50)	100 (16,7)
Северо-Западное побережье (г. Очаков — р. Дунай)	250	160 (64)	30 (12)	60 (24)

Антропогенные факторы, усиливающие абразию, приведены на рис. 24. Они вызывают усиление волнового воздействия, течений и понижение сопротивляемости берегов. Инженерно-хозяйственная деятельность человека преобразует ход абразионно-аккумулятивных процессов и морфо-литодинамические условия береговой зоны, изменяет естественный процесс прибрежной седиментации осадков, формирования пляжей и шельфовой отмели, нарушает баланс наносов.

Пляжи и отмели служат лучшими гасителями энергии волны, своеобразной «броней» берега. При широком пляже (более 30—35 м) абразия нейтрализуется. Активный абразионный процесс развивается на берегах без пляжей, с крутыми обрывами, поэтому все изменения природной среды, которые уменьшают питание прибрежной полосы терригенным материалом, отрицательно изменяют баланс наносов, частично или полностью уничтожают пляжи, а также понижают сопротивляемость берегов размыву, в сущности вызывают усиление абразии.

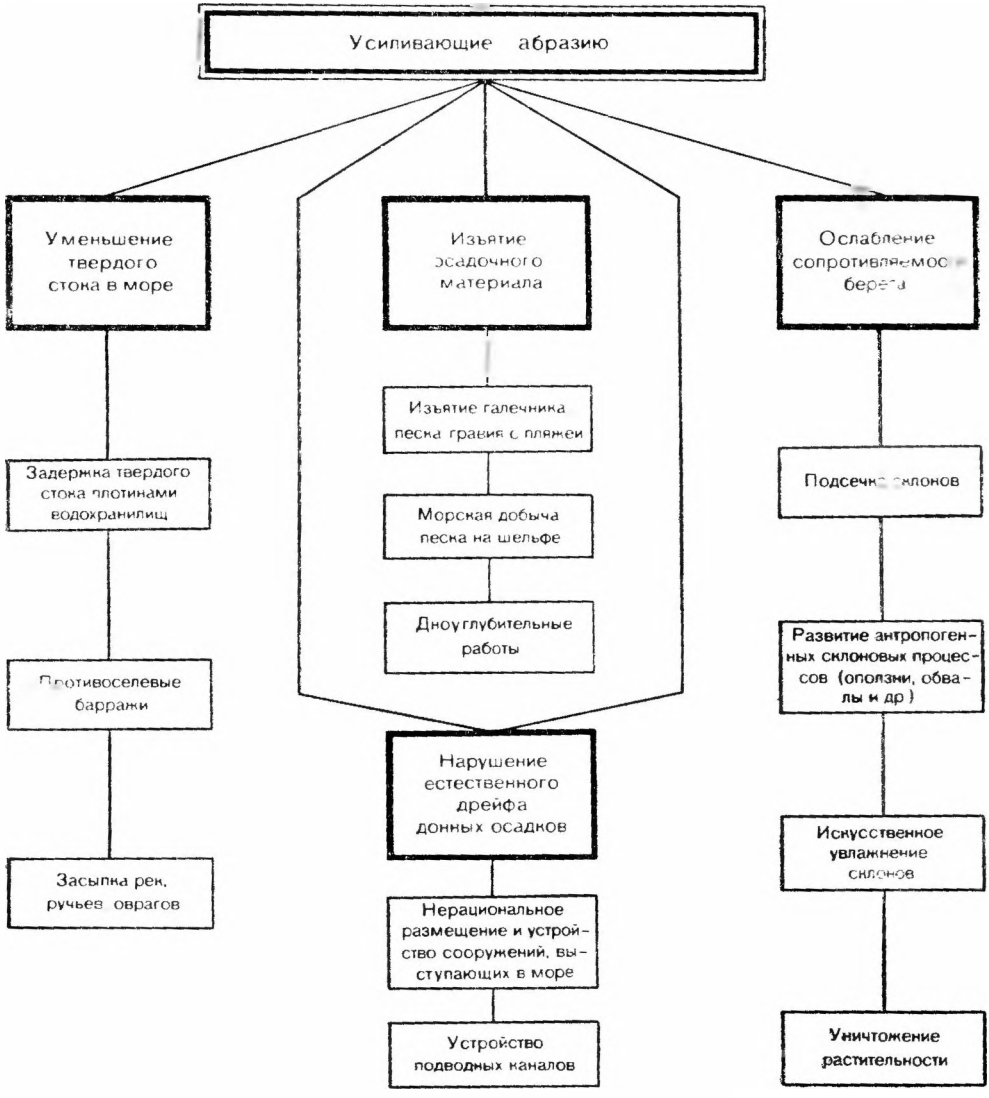
На многих реках бассейнов Черного, Азовского, Каспийского, Балтийского и других морей построено большое число плотин и водохранилищ, которые уменьшили твердый сток и поступление в моря терригенного материала. Это подтверждается заилением водохранилищ, литологическими съемками и картированием донных осадков морей, стационарными исследованиями баланса наносов и территориального распределения осадков на побережьях, наблюдением за миграцией меченых галек. Активизация абразии на Черноморском побережье связана с резким снижением твердого стока в море, истощением естественного питания пляжей, изъятием пляжевого материала и пр.

За последние 40 лет с пляжей Черноморского побережья было вывезено более 40 млн. м^3 галечника, песка и ракуши для целей строительства и благоустройства. Общий объем смытого материала на Черноморском побережье Кавказа составил 50 млн. м^3, площадь размытой пляжной полосы — 16 км^2. Ширина естественных пляжей на ряде участков сократилась в 2—3 раза, а в отдельных местах пляжи уничтожены абразией полностью.

Между Туапсе и Адлером ширина пляжа ежегодно уменьшалась на 0,67 м. За 30 лет пляжевый материал на участке Кудепста — Псоу сократился на 1,5 млрд. м^3.

Уменьшение и полное уничтожение пляжей отмечается на Черноморском побережье от Анапы до Батуми, в районе Одесского побережья и в других местах. На участке между Туапсе и Адлером протяженностью 100 км за год поступает на пляж 170 тыс. м³ гальки, а потери составляют 320 тыс. м³ (изъятие галечника

РИС. 24.
Антропогенные факторы, усиливающие и ослабляющие абразию



для строительства, смыв и истирание). В 1914 г. между Туапсе и Адлером простиралась полоса широкого пляжа с общим объемом галечника около 14 млн. м³, а к 1967 г. объем его уменьшился до 5,9 млн. м³, т. е. более чем в два раза.

По данным В. Зенковича и А. Жданова, на участке от Туапсе до Адлера для строительства отбиралось ежегодно 120 тыс. м³ пляжевого материала, на участке Гагра — Сухуми — 0,5 млн. м³/год. Южнее Одессы вывозилось ежегодно около 1 млн. м³ донных наносов. Уменьшаются пляжи южнее Днестровского лимана, в Евпатории, исчезли многие пляжи Южного берега Крыма, Кавказа.

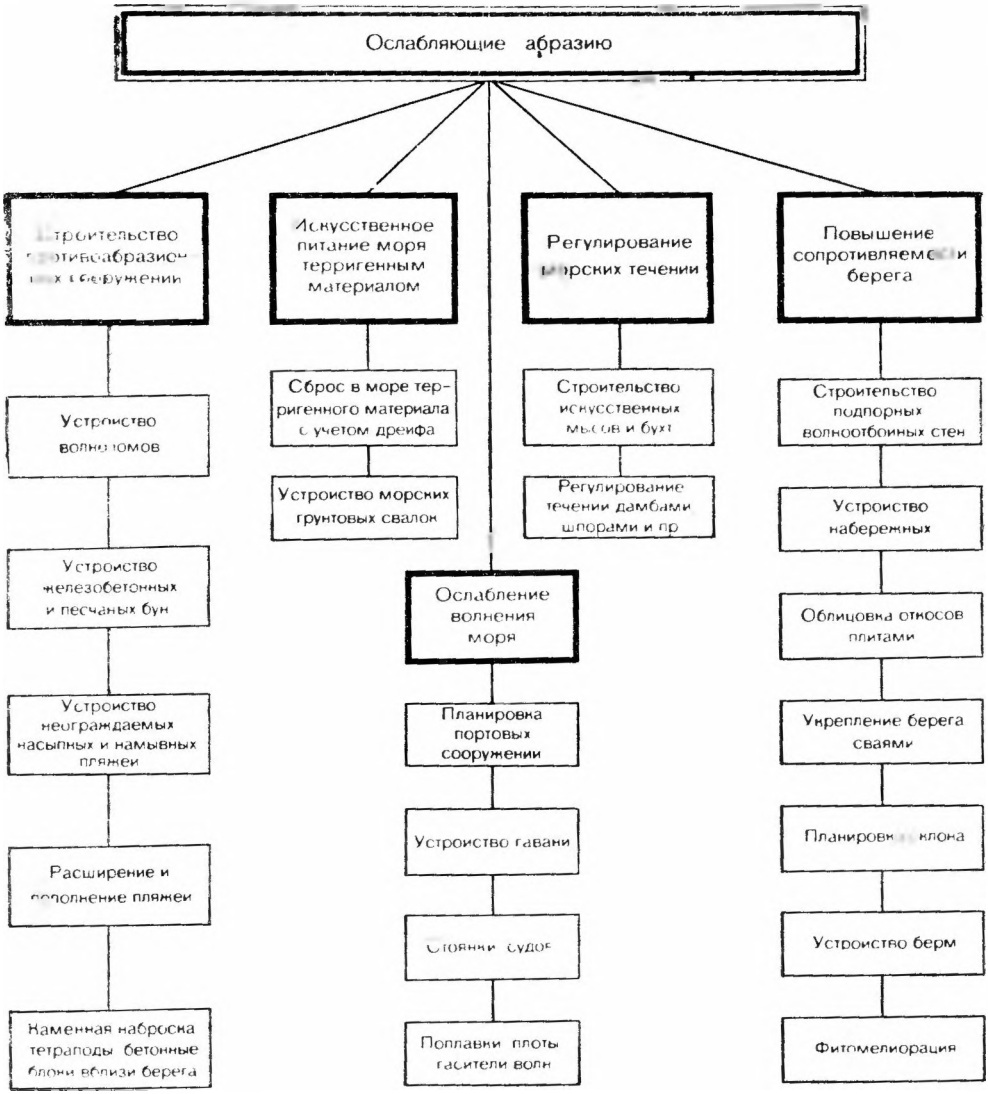


Таблица 11

ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРОВ ПЛЯЖА НА УЧАСТКЕ ТУАПСЕ—АДЛЕР с 1914 по 1968 г. (по данным Черноморской лаборатории ЦНИИС)

Район	Длина пляжа, км	Ширина пляжа, м / Площадь пляжа, тыс. м²					
		1914 г.	1955 г.	1964 г.	1965 г.	1966 г.	1968 г.
Мыс Головинка — мыс Уч-Дере	20	48.8 / 976	32,4 / 648	32,6 / 651	30.2 / 604	29.6 / 593	29.6 / 593
Мыс Уч-Дере — руч. Бочаров	8	50.6 / 405	16,8 / 134	16,4 / 131	16.6 / 133	14.5 / 116	15.5 / 124
Руч. Бочаров — р. Сочи	6.3	46.0 / 290	30.8 / 194	28.9 / 182	29.2 / 184	27.0 / 170	27.5 / 173
р. Сочи - р. Хоста	15.2	42,3 / 643	15,3 / 233	12,3 / 187	13,4 / 204	13.8 / 210	12.4 / 189
р. Хоста — р. Кудепста	1,7	58.8 / 100	13,5 / 23	16.5 / 28	21.8 / 37	17.6 / 30	17.6 / 30
р. Кудепста — р. Мзымта	9.4	63.3 / 595	27,6 / 259	26,7 / 251	26.3 / 247	22.8 / 214	26,5 / 249
Итого	60.6	50.1 / 3009	20,2 / 1491	20,2 / 1430	20.2 / 1409	20 / 1333	20 / 1358

Данные табл. 11 характеризуют изменение ширины и площади пляжа на участке от Туапсе до Адлера за 1914—1968 гг. Ширина пляжа за этот период сократилась с 50 до 20 м, т. е. в среднем в 2,5 раза, площадь пляжа — с 3009 тыс. м² до 1358 тыс. м², т. е. уменьшалась в год на 30 тыс. м².

На отдельных участках побережья (например, в районе Сочи) море стало «съедать» до 4 м берега в год. В Сочи размыв берега усилился в связи с сооружением в 1936 г. мола, под влиянием которого изменился режим движения морских твердых наносов, участвующих в формировании пляжей. К югу от мола после его сооружения резко усилился размыв берега, в результате чего в ряде мест пляжи шириной 30–40 м были полностью размыты. Наряду с этим к северу от порта на отрезке побережья от санатория «Ривьера» до Дагомыса протяженностью до 5 км стало происходить нарастание берега. Спустя 10 лет вблизи «Ривьеры», где море вплотную подходило к бетонным стенкам, сформировалась аккумулятивная галечниковая терраса шириной до 60 м.

Большие разрушения пляжа, прилегающего берега и берегозащитных сооружений произошли в 1968—1969 гг. во время штормов в районе Адлера (рис. 25).

Абразионные размывы усиливались постепенным истощением

РИС. 25.
Абразионное разрушение берега в Адлере во время шторма в 1969 г. (фото Н. И. Дубровина)

вдольберегового потока терригенных осадков в направлении с севера на юг (в сторону Адлера); поток осадков задерживался оградительными молами Сочинского порта. В результате строительства плотин на реках (Краснополянская плотина на р. Мзымте и др.), водохранилищ на мелких реках и ручьях, облицовки берегов и дна многих рек (Сочи, Мацеста, Агура, Хоста, Бзыбь, Ингури и др.) уменьшился эрозионный привнос обломочного материала и сократилось питание пляжей. Вывоз обломочного материала из речных долин усиливает этот процесс.

Подверглись размыву пляжи в районе Гагры, чему способствовало уменьшение наносов, поступающих из соседних рек Псоу. Мзымты, Бзыби, Жове-Квара.

На р. Жове-Квара образовался сель (грязевой поток), что вызвало необходимость в целях защиты Гагр возвести на реке противоселевую камнезадерживающую плотину. В связи с этим пляжи стали сужаться, а местами исчезать, увеличилась глубина моря у берегов. Для защиты берега построили буны, но часть из них была разрушена зимними штормами. Кроме того, разрушены берегоукрепительные стенки и здание санатория [43].

Море разрушает знаменитую реликтовую сосновую рощу в районе Пицунды, что автор наблюдал еще в 1965 г. (рис. 26).

При строительстве пансионата в Пицунде были допущены просчеты в изысканиях и планировке. Высотные пятнадцатиэтажные корпуса пансионата и набережная были расположены слишком близко к урезу

РИС. 26.
Размыв морем реликтовой сосновой рощи в Пицунде

моря, без учета многолетнего гидрологического режима, ширины зоны влияния штормов и прибоя. По данным Гидропроекта, ежегодная убыль песка и гальки на Пицундском полуострове составляет 2,5 млн. м³ [43]. Во время сильного шторма в 1969 г. были сильно размыты пляжи, набережная курорта Пицунды и вертикальная стена вдоль пляжа. На рис. 27 показана временная защита здания пансионата Пицунды после шторма в 1969 г.

Вертикальная стена вдоль набережной и близко расположенные к урезу моря здания служили препятствием для прибойной волны, которая с огромной силой откатывалась назад, унося в море береговой песок и гальку. Так, в результате неоднократных штормов (1969, 1970, 1972 гг.) «таяли» пляжи. Кроме того сказалось влияние изменения режима поступления обломочного материала из р. Бзыби. В низовьях этой реки более 20 лет эксплуатировался карьер, из которого вывозился песок и галечник. В настоящее время разработаны и осуществляются проекты реконструкции и инженерной защиты курорта Пицунды — жемчужины Кавказа.

Весьма показателен пример влияния антропогенных воздействий на развитие абразии, связанный с портовым строительством в Очамчире. Сооружение в 1936 г. мола Очамчирского морского порта без учета движения вдоль береговых потоков изолировало берег от поступления наносов рек Кодори и Тамыш, что привело к его размыву до 100—150 м. Море наступало на город

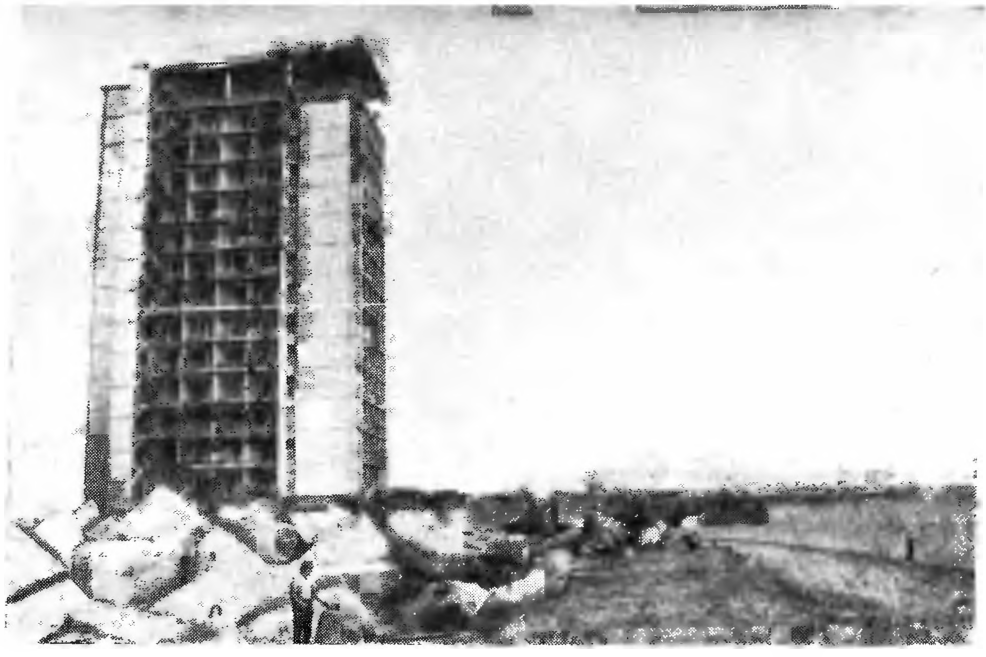


РИС. 27.
Временная защита размываемого берега каменной наброской в Пицунде

В 1965 г. началось строительство берегозащитных сооружений; на протяжении 2,5 км были возведены бетонная стена и до 50 бун, между которыми скопилась галька и появились пляжи.

В г. Поти, по данным В. Зенковича, море размыло берег протяженностью 700 м, пострадали городские строения. Развитие абразии здесь отчасти связано с переброской р. Риони в новое русло, которая поставляла к берегу более 600 тыс. т. песка в год. Уменьшается широкий пляж, сложенный мелкой галькой, в курортном городе Кобулети.

Морская абразия широко развита на преобладающей части Одесского побережья. Это обусловлено трансгрессией моря (за 75 лет — с 1880 г. по 1954 г.) — уровень моря повысился на 60 см и опусканием суши (в среднем до 6 мм/год в прибрежной части и 2 мм/год на плато). В результате этих процессов размыв в настоящее время преобладает над осадконакоплением, до 35—40% берегов не имеют пляжей.

В среднем море отвоевывает у суши 1 м берега в год. К антропогенным факторам, активизирующим здесь абразию, относятся устройство плотин и водохранилищ на Дунае и Днестре, засыпка оврагов, ликвидация мелких водотоков, застройка, асфальтирование, облесение, особенно склонов, противоабразионная защита, устройство подводных каналов, перехватывающих наносы, морских карьеров, изъятие для строительных целей песка из моря и с пляжей, дноуглубительные работы и др.

К антропогенным факторам, ослабляющим абразию, относятся строительство гавани, портовых сооружений (в районе старого Одесского порта абразия прекратилась), береговая защита путем устройства подводных волноломов, траверсов, волноотбойных стен, искусственных пляжей и др., благодаря чему абразия на участке от Ланжерона до Аркадии резко ослаблена. Однако воздействия и процессы, активизирующие абразию, еще имеют преобладающий характер.

В Крыму абразия сильно развита на южном берегу в горных районах, где почти все участки берега имеют клиф. Скорость размыва берегов здесь достигает 3 м/год, но чаще менее 1 м/год. На Керченском полуострове средняя скорость размыва составляет 1,5—5 м/год, максимальная — 16 м/год. Скорость абразии зависит от состава и размываемости пород. На ЮБК скорость размыва аргиллитовых пород составляет в среднем 0,01 м/год, оползневых накоплений — 1,8 м/год, рыхлых делювиальных суглинков — до 3 м/год.

Южный берег Крыма исключительно беден пляжами, и это снижает его рекреационный потенциал. Обрывистые берега, крутизна шельфа, значительная глубина моря у берега затрудняют и удорожают устройство искусственных пляжей.

Абразия наносит огромный ущерб народному хозяйству, разрушает в приморских городах, на курортах и в поселках строения, расположенные близко к морю, на отдельных участках железные и автомобильные дороги, лесные и сельскохозяйственные угодья и различные сооружения. Так, на закрепление берега только на участке Туапсе — Адлер затрачено более 350 млн. руб. Стоимость инженерной защиты 1 км берега составляет 1,5—2,5 млн. руб. Борьба с абразией осуществляется в следующих направлениях: 1) строительство противоабразионных сооружений; 2) искусственное питание моря терригенным материалом; 3) регулирование морских течений; 4) ослабление волнения моря и 5) повышение сопротивляемости берега.

Необходимо подчеркнуть, что методы и технические средства борьбы с абразией не могут быть стандартными, они зависят от местных регионально-геологических, зонально-климатических и гидрологических условий. Несоблюдение принципа дифференциации их привело к ошибкам в практике инженерной защиты берегов и большим убыткам. Отметим, что противоабразионная мелиорация имеет социальный аспект. В капиталистических странах осуществление берегозащитных мероприятий затруднено из-за господства частной собственности на землю. Так, в США в Южной части Атлантического побережья (Мексиканский залив) до 66% берегов находятся в частном владении. Здесь на протяжении 3953 км 41% берегов подвержен абразии, в том числе 19% (768 км) находятся в критическом состоянии, защита их (начальные капитальные затраты) оценивается в 215 млн. долларов.

В СССР борьба с абразией в последние годы приняла широкий размах. Разработаны генеральные схемы берегозащитных мероприятий, проводятся большие теоретические региональные и экспериментальные исследования геодинамики морских берегов. Берегозащитные работы выполнены в больших объемах на Одесском побережье, где берега закреплены и созданы искусственные пляжи шириной до 50—70 м на протяжении 15 км; усилены работы на

Южном берегу Крыма, Кавказском побережье РСФСР и Грузинской ССР. В районе Туапсе — Адлер по состоянию на 1970 г. на побережье протяженностью 115 км построено 70 пог. км морских волноотбойных стен (61% протяженности берега), 387 бун длиной 12 847 м, 8 траверсов длиной 404 м и 11 волноломов длиной 1915 м.

В районе Туапсе — Адлер предполагается в течение 25 лет построить волноотбойных стен протяженностью 37 000 м, бун и волноломов — 46 300 м.

Рисунки 28—31 иллюстрируют практику инженерной защиты берегов от абразии.

В соответствии с генеральной схемой противооползневых и берегозащитных мероприятий на Черноморском побережье УССР от устья Дуная до Керченского пролива протяженностью 1805 км предусматривается защита берега длиной 196 км. Сумма затрат на первую очередь строительства (10-я пятилетка) составит 203 млн. руб. (71,3 пог. км).

Наука и практика усовершенствуют способы и технические средства противоабразионной защиты. В частности, начались опытные работы по устройству «свободных» насыпных и намывных пляжей без бетонных ограждений, песчаных кос, дамб, создание искусственных мысов и бухт, Т-образных бун и др.

Искусственные неограждаемые пляжи экономически выгодны. Они стали применяться в СССР, ГДР, ФРГ, Японии, США, Англии и других странах. Устраиваются такие пляжи на участках значительной протяженности; причем песок и галька по гранулометрическому составу должны быть близки к естественным или крупнее. Необходимо иметь в виду, что в первое время эксплуатации

РИС. 28.
Берегозащитные сооружения вблизи Ялты

неизбежен размыв надводного пляжа (в дальнейшем потери пляжевого материала будут уменьшаться), что потребует пополнения убыли песка и гальки.

В решении Всесоюзного совещания по методике, технике и результатам морских инженерно-геологических и береговых исследований в 1973 г. были отмечены большие перспективы создания насыпных неограждаемых пляжей. Такие пляжи в пос. Планерском, Геленджикской бухте и Новосибирском водохранилище прошли проверку временем и оказались стабильными, надежно защищающими берег от разрушения. Стоимость их создания значительно ниже строительства бетонных берегозащитных сооружений. Принято

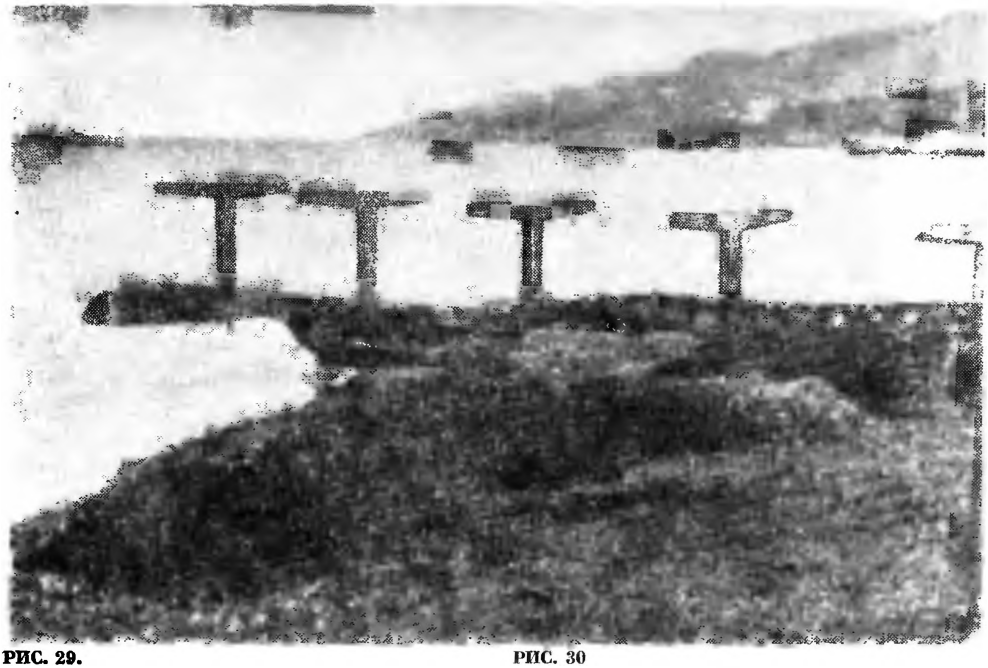


РИС. 29.
Строительство буны в Крыму с солярием наверху

РИС. 30
Противоабразионная дамба в Каспийском море (Шихов мыс) для защиты Биби-Эйбатской бухты

РИС. 31.
Искусственное наращивание пляжа в районе Лазурного Берега, Франция

целесообразным устройство «свободных» пляжей на Одесском побережье, первоочередным намечен участок к юго-западу от мыса Большой Фонтан протяженностью 1—1,5 км.

На совещании признана перспективной дальнейшая разработка вопроса о создании прерывистых берегозащитных укреплений и уловителей наносов, отторгающих сооружений (искусственных аналогов кос, баров, пересыпей, островов), банкетов из массы горных пород и др. Генсхемой берегозащитных мероприятий на Черноморском побережье УССР намечено образование свободных пляжей протяжением 18,5 км.

Абразия взаимосвязана с другими геологическими береговыми процессами, вызывает оползни, обвалы и осыпи. В этих случаях эффективна только комплексная защита берегов от абразии, оползней, обвалов и пр.

Следует отметить, что наступление моря опережает защиту берегов, поэтому крайне необходимо расширение противоабразионных работ.

КАРСТ

Карст, вызванный инженерно-хозяйственной деятельностью человека, автор называет антропогенным карстом. Природный и антропогенный карст имеют общие черты и различия. Сходство их заключается в том, что и тот и другой возникают и развиваются при наличии карстующихся водопроницаемых пород, движении подземных вод и выносе продуктов выщелачивания и размыва,

растворяющей способности (агрессивности) поверхностных и подземных вод.

Антропогенный карст отличается от природного следующими особенностями.

1. Возникновение связано с деятельностью человека.

2. Имеет меньшую площадь и глубину распространения.

3. Характеризуется большей скоростью развития и интенсивностью проявления.

4. Может развиваться там, где карст ранее не проявлялся, но где имеются геологические и гидрогеологические предпосылки для его возникновения.

5. Легче предотвращается и регулируется.

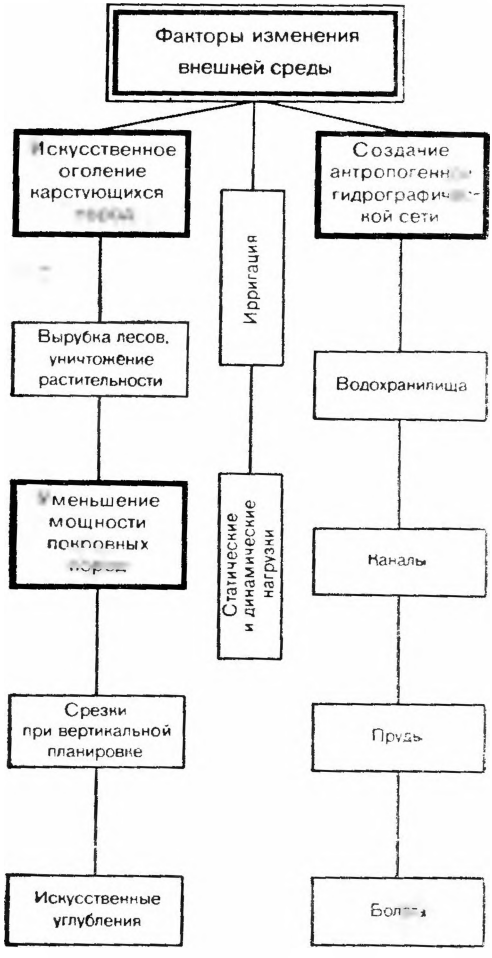
6. Территориально приурочен к среде жизнедеятельности человека.

Различают поверхностный и глубинный карст. Первый обусловлен растворяющей и размывающей деятельностью рек, водохранилищ, атмосферных осадков. Глубинный карст связан с геологической деятельностью подземных вод. Изучен антропогенный карст недостаточно. Только в последние годы в связи с расширением ноосферы и активизацией антропогенного карста в научно-технической литературе стало уделяться больше внимания этим вопросам (Г. А. Максимович, Н. А. Гвоздецкий, Д. С. Соколов, В. Н. Дублянский, Б. Н. Иванов, Н. И. Соколов, И. А. Печеркин, А. И. Дзенс-Литовский, С. С. Коржуев, А. Г. Чикишев, А. В. Ступишин, И. П. Кириченко, Ю. П. Пармузин, Г. В. Короткевич, Ф. В. Котлов, А. Н. Ильин, И. А. Саваренский, А. А. Колодяжная, М. С. Кавеев и др.).

Влияние деятельности человека на развитие карста отмечали еще в литературе XIX в. Г. Марш (1836 г.), А. И. Воейков (1894 г.) и др.

А. И. Воейков возникновение пустынного карстового ландшафта в Истрии, Далматии, Герцеговине и Черногории связывал с вырубкой густых лесов в XV и XVI вв., лесными пожарами, поеданием скотом (особенно козами) растительности.

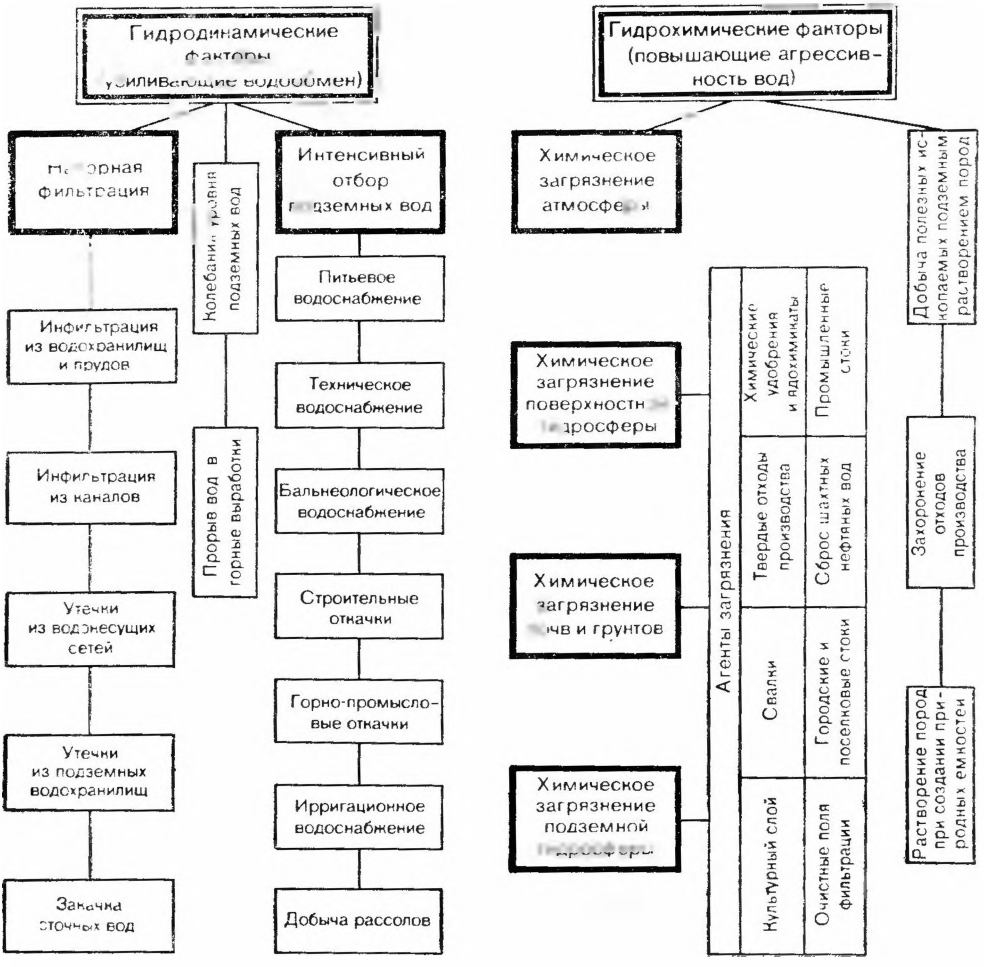
РИС. 32.
Антропогенные факторы и условия формирования карста



Н. А. Гвоздецкий [26] развитие голого карста в Горном Крыму и Абхазии также связывает с уничтожением лесов и поеданием скотом древесных побегов.

Наибольшее влияние на развитие антропогенного карста оказывают добыча полезных ископаемых способами подземного выщелачивания пород, гидротехническое, промышленно-гражданское и горнорудное строительство, длительная эксплуатация подземных вод для питьевого, технического, ирригационного и бальнеологического водоснабжения, устройство подземных нефтегазовых и других емкостей, вырубка лесов, уничтожение растительности, сброс сточных агрессивных вод и др.

Антропогенные воздействия, вызывающие и способствующие развитию карста, весьма многообразны, о чем свидетельствует схема, приведенная на рис. 32. Антропогенные факторы действуют в трех основных направлениях: активизируют водо-



обмен, усиливают агрессивность вод и понижают прочность покровных и карстующихся пород.

Антропогенный карст, так же как и природный, в зависимости от состава карстующихся пород разделяется в основном на карбонатный, гипсовый, меловой, соляной и смешанный. Территориальная приуроченность различных видов карста контролируется распространением и условиями залегания карстующихся пород.

По данным Г. А. Максимовича [92] карбонатные породы (обнаженные на поверхности и погребенные) занимают в масштабе планеты наибольшую площадь — до 40 млн. км², гипсы и ангидриты — 7 млн. км² и соли — до 4 млн. км². Суммарно карстующиеся породы охватывают около одной трети суши.

В СССР обнаженные и погребенные карбонатные породы занимают до 40% площади, ископаемые соляные залежи распространены на площади более 2,3 млн. км². На рис. 33 приводится схематическая карта распространения карста на территории СССР.

Антропогенный карст имеет довольно широкое распространение. Антропогенный соляной карст в СССР развит в Предуральском краевом прогибе (г. Соликамск, пос. Красный Яр и др.), Прикаспийской впадине, Бахмутской котловине (города Артемовск, Славянск, Новый Карфаген и др.), Закарпатье (Верхне-Тиссенская котловина), Средней Азии, Закавказье и в других местах. Отложения каменной соли наиболее распространены в Ангаро-Ленском краевом прогибе (более 0,6 млн. км²), в Прикаспийской синеклизе и Предуральском краевом прогибе (более 0,3 млн. км²). Проявления антропогенного карбонатного, гипсового и смешанного карста установлены во многих городах и промышленных центрах страны (города Москва, Подольск, Тула, Щекино, Таллин, Львов, Северо-Уральск, Куйбышев, Казань, Пермь. Дзержинск, Уфа, Благовещенск. Кунгур, Альметьевск, Октябрьский, Зеленодольск, Волжский, Елец, Курск, Арзамас, Павлово, Черемхово и др.).

За рубежом антропогенный карст известен в Югославии, Чехословакии, Болгарии, Польше, Англии, ГДР. ФРГ, Франции, Италии. Испании, США, Африке и др.

Формы проявления антропогенного карста самые разнообразные: вторичная укрупненная пористость. трещины, каверны, ноздреватость, карры, пещеры, ниши, каналы. колодцы, шахты, воронки, провалы, обвалы, просадки, котловины. карстовые озера, овраги, рытвины. долины.

Необходимо отметить двухстороннее воздействие человека на карстовый процесс. В некоторых случаях при благоустройстве городов и поселков, воднохозяйственной мелиорации, лесоразведении и пр. карстовый процесс затухает и прекращается, но чаще в результате деятельности человека он активизируется.

По данным Дзержинской карстовой станции, с уменьшением инфильтрации атмосферных вод в массив карстующихся пород в г. Дзержинске, вызванным застройкой и асфальтированием территории, стало уменьшаться число карстовых провалов. Из 62 зарегистрированных провалов в районе г. Дзержинска с 1935 по 1974 г. лишь несколько провалов произошло в пределах города и прилегающих поселков.

Приведем ряд характерных примеров образования антропогенного

карста. Все шире внедряются для добычи полезных ископаемых способы подземного растворения пород. Некоторые твердые полезные ископаемые (каменная соль, калийные соли, медь, золото и др.) в результате нагнетания растворителей (воды, кислот и щелочей) переходят в раствор и извлекаются из недр земли. Данный способ широко входит в практику горнодобывающей промышленности СССР и за рубежом. Химические методы добычи полезных ископаемых начинают вытеснять механические способы. При подземном растворении происходит образование пустот и крупных полостей, обрушение и сдвижение вышележащих пород, образование провальных воронок, трещин и мульд проседания на поверхности земли.

В г. Славянске УССР в результате подземного выщелачивания залежей каменной соли способом искусственного растворения внутри массива соленосных пород появились полости и пустоты, приведшие к сдвижению пород, образованию мульд проседания, карстовых провалов и воронок на поверхности земли. В северной части города на территории рассолопромысла сформировалась мульда проседания общей площадью 100 га. Наибольший радиус мульды проседания составлял 1350 м. В 1952—1954 гг. проводились инструментальные наблюдения за просадкой поверхности земли в северной части города, результаты которых представлены на рис. 34 в виде карты изолиний просадок. Максимальная величина опускания поверхности земли только за период наблюдений достигла 32 см. Скорость проседания отдельных реперов составляла до 11 мм/мес. На поверхности земли прослежена трещина разрыва пород протяженностью 2 км и шириной по верху до 18 см (в среднем 8—10 см). Некоторые здания и сооружения, расположенные вдоль этой трещины, подверглись значительным деформациям.

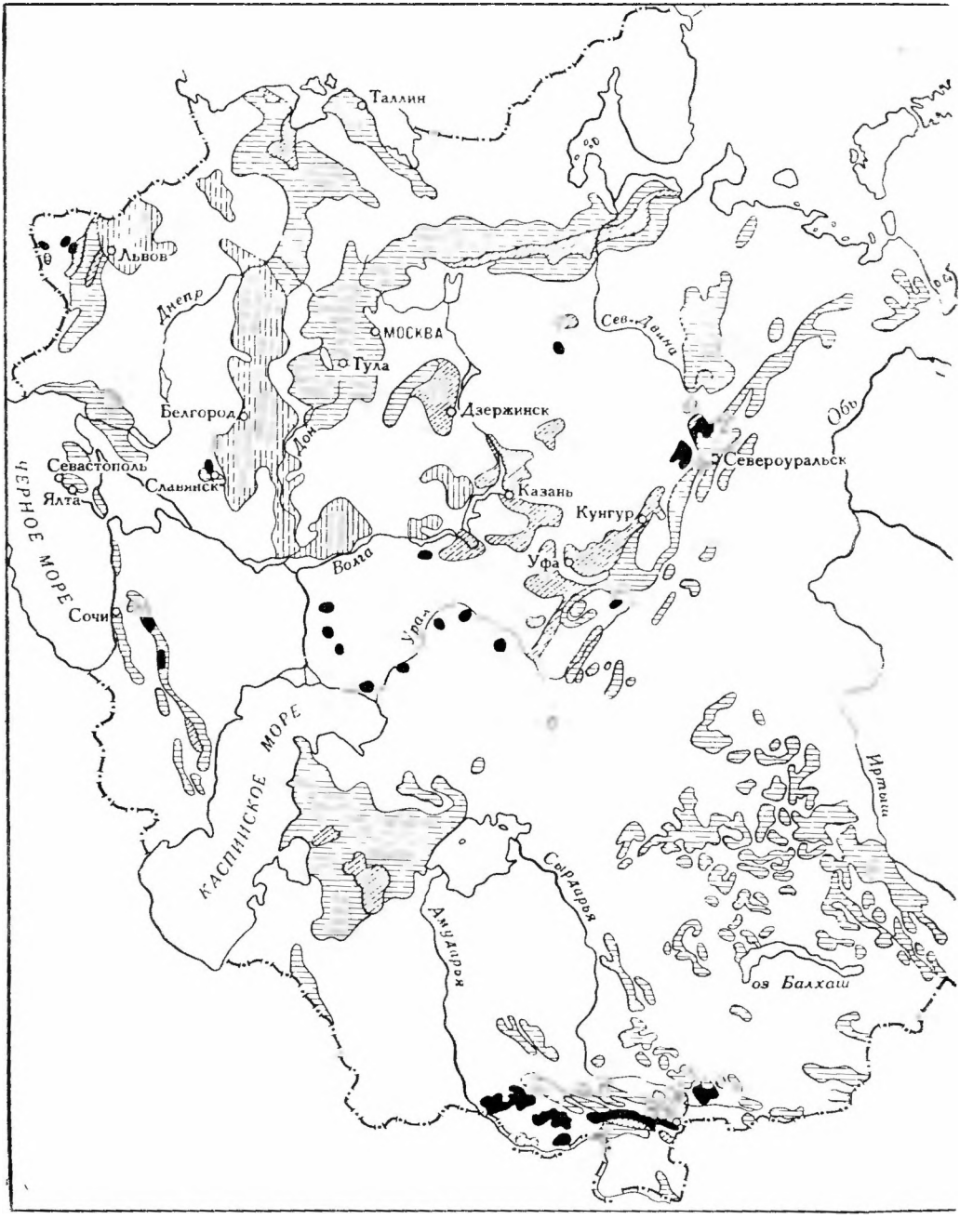
В местах наиболее интенсивного выщелачивания залежей соли происходили провалы вышележащих пород и образовывались карстовые воронки диаметром 15—45 м, видимой глубиной 4—9 м. Процесс естественного выщелачивания соленосных пород здесь совместился с антропогенным карстом, вызванным добычей соли способом подземного выщелачивания.

Еще более интенсивное проявление антропогенного карста происходит на территории Нового Карфагена. Солепромысел Новый Карфаген расположен в Бахмутской котловине. Здесь залегают пять-шесть пластов каменной соли суммарной мощностью до 25 м, заключенных в пачке пород общей мощностью около 100 м. Надсолевые породы представлены преимущественно ангидритом и мергелем. Добыча соли производится через систему скважин, подающих воду и извлекающих рассол. Вначале в массиве соленосных пород образовались изолированные камеры выщелачивания, затем по мере соединения камер — единое поле выщелачивания. Это вызвало сдвижение вышележащих надсолевых пород с образованием на поверхности земли мульды проседания.

Проседание в основном протекает постепенно и лишь иногда неравномерно, с провалами и внезапными обрушениями. На рис. 35 приведена карта проседания поверхности земли на территории солепромысла Новый Карфаген. Величина проседания достигала здесь очень большой величины — 700 см. На карте показаны карстовые провалы, образовавшиеся

РИС. 33.
Схематическая карта распространения карста

1 — карбонатный карст; *2* — гипсовый, карбонатно-гипсовый карст; *3* — меловой карст; *4* —



соляной карст; *5* — города с населением более 10 000 жителей, расположенные в зонах карста

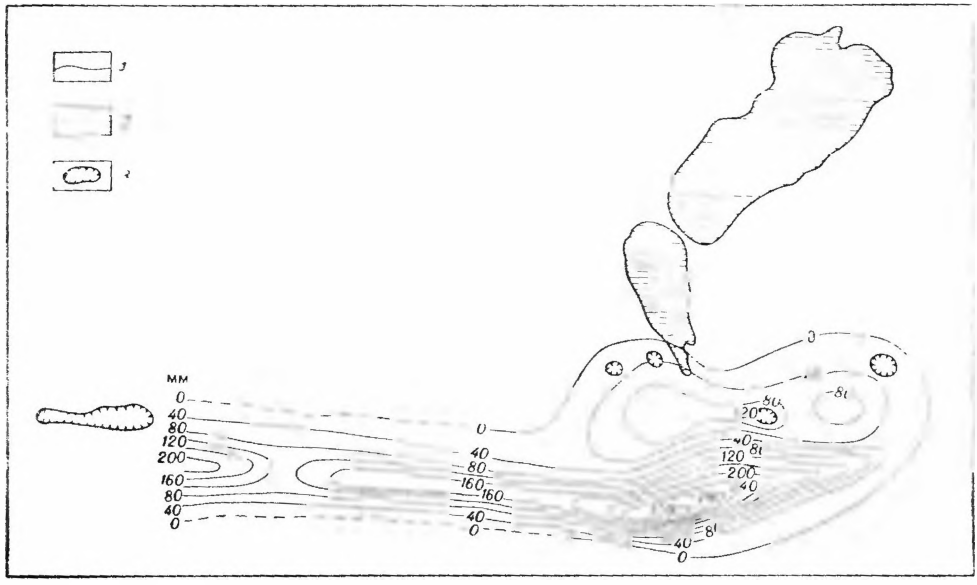


РИС. 34.
Схематическая карта изолиний просадок территории г. Славянска (по С. Ф. Травнику).
1 — изолинии просадок; *2* — озера; *3* — карстовые провалы

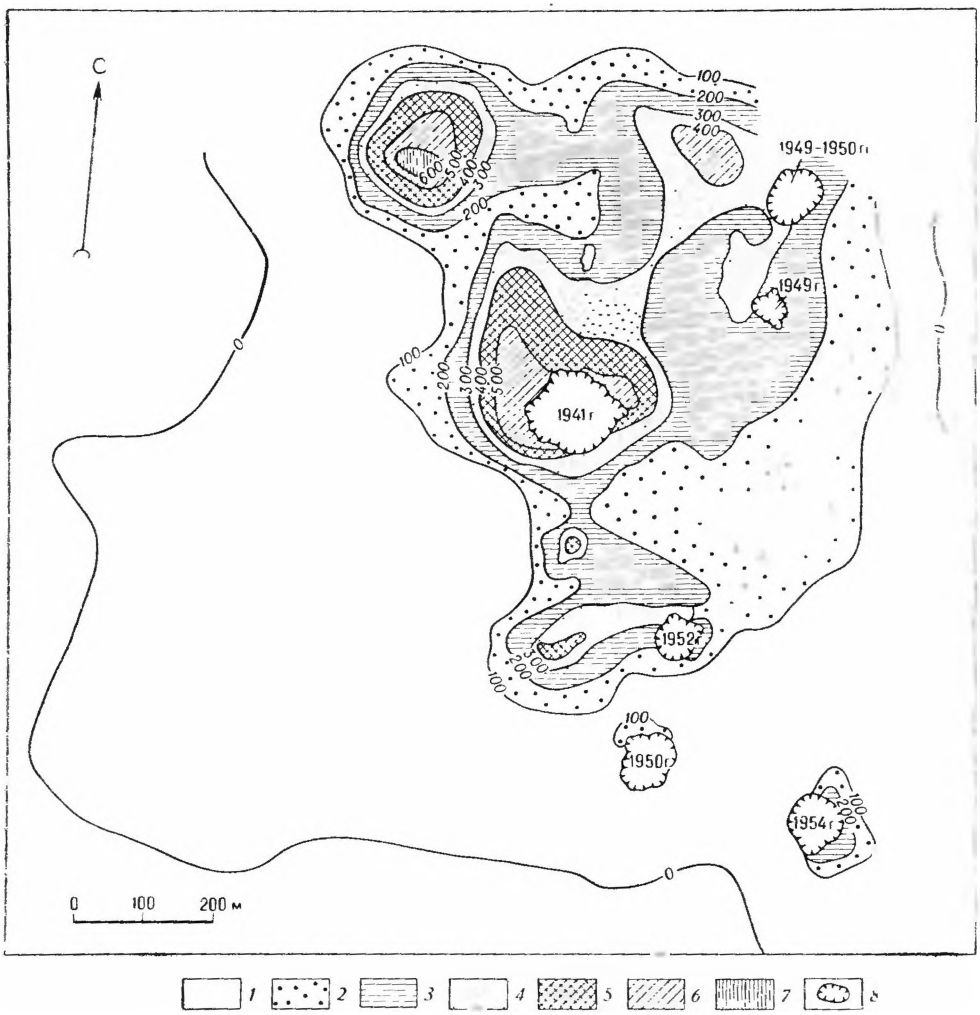
в 1941, 1949, 1950, 1952 и 1954 гг.

Соляной антропогенный карст активно развивается при разработке месторождений ископаемых солей. Соляные шахты часто затопляются в связи с прорывом в них соляных рассолов обычно из-за развития соляного карста. Затопление соляных шахт происходило в Бахмутском соленосном районе Донбасса, в г. Соль-Илецке, Солотвино (Закарпатье) и др. [55].

В районе Соль-Илецка строительство и введение в эксплуатацию соляной шахты почти в десять раз повысило активность естественного карста. На Верхнекамском месторождении калийных солей карстовые полости приурочены к древним солепромыслам, рассолоподъемным скважинам и к современным шахтным стволам. До разработки калийных солей здесь в течение почти пяти столетий производилась откачка надсолевых рассолов. В результате нарушения естественного гидрогеологического режима в карналлитовой породе и покровной толще каменной соли образовались карстовые полости объемом несколько сотен кубических метров [29].

Антропогенный карст, вызванный добычей соли способом подземного выщелачивания и откачкой рассолов, известен в США, Англии, Югославии, Чехословакии и в ряде других стран.

В районе г. Тузла (Югославия) с 1886 г. началась эксплуатация месторождения каменной соли. Проседания и трещины на территории города наблюдались еще до второй мировой войны. Некоторые здания деформировались, фундаменты их разрушались, принятые меры не да-



вали результата. Лишь в 1954 г. местным геологам удалось установить, что причиной просадок является выкачивание рассолов из глубоких колодцев с целью добычи поваренной соли. По данным Смайлбеговича (1957 г.), с площади 1 км² было откачано около 17 млн. м³ рассола и добыто 17 млн. т соли.

В центральном Чешире (Англия) добыча соли производилась в начале нашей эры. В 1670 г. стал применять-

РИС. 35.

Проседание земной поверхности на территории Нового Карфагена с 1940 по 1955 г. (по А. Е. Ходькову).

Величина проседания (в см): *1* — 0—100; *2* — 100—200; *3* — 200—300; *4* — 300—400; *5* — 400—500; *6* — 500—600; *7* — 600—700; *8* — карстовые провалы

ся шахтный способ добычи соли. В 1740 г. произошел прорыв поверхностных вод в подземные выработки, затопивших весь промысел. Результатом затопления явились выще-

лачивание соли и образование огромного количества рассолов, которые добываются и в настоящее время.

В районах добычи соли и выкачивания в больших объемах рассолов антропогенный карст нашел отражение в современном рельефе.

В районе Парижа развит природный и антропогенный карст, вызванный выщелачиванием гипсов, заключенных в известняках и мергелях эоцена.

На глубине до 40 м наблюдаются два вида сдвижения пород: карстовые провалы с образованием на поверхности земли воронок диаметром 2–13 м, видимой глубиной 2,5—18 м, объемом 800—1500 м³ и медленное оседание земли с образованием в рельефе депрессий. Провалы связаны с широко развитой в Париже сетью подземных карьеров (катакомб), выщелачиванием подземными водами пластов и линз гипса и частично известняков, выносом водой терригенного материала. Большое влияние оказывают длительные откачки воды из артезианских скважин. Дебит скважин только одного водоносного горизонта в Париже составляет 100 тыс. м³/сут, а содержание гипса в откачиваемой воде достигает 1 г/л. Провалы часто сосредоточены в районе интенсивных откачек. Явления провалов и медленных оседаний наносят огромный ущерб городу. Наблюдаются провалы не только отдельных зданий, но и целых кварталов. просадки дорог, подземных коммуникаций и других сооружений.

Подземное выщелачивание легко растворимых пород используется при создании искусственных полостей для подземного хранения нефти, бензина, газов и пр. Этот способ широко применяется в США. Во Франции в районе г. Маноска в соленосных породах мезозоя мощностью до 800 м на глубине до 1000 м способом подземного выщелачивания (нагнета) ние через скважины пресной воды создано грандиозное подземное хранилище нефти объемом до 5 млн. м³. Здесь применяется система автоматического управления процессом выщелачивания пород и образования подземных полостей диаметром 60—70 м.

В СССР создание подземных емкостей способом выщелачивания соленосных пород также получает широкое распространение. Антропогенный карст развивается в районах, где естественный режим подземной гидросферы изменен в результате устройства в карстующихся породах водохранилищ, прудов и каналов) в направлении активизации водообмена, гидродинамических процессов и повышения агрессивности вод.

В системе Камского, Братского, Куйбышевского и других водохранилищ установлена активизация карстового процесса под влиянием подпора, проникновения в карстовый массив пресных, обычно агрессивных вод, колебания уровня воды в водохранилищах (в равнинных — в пределах 6—10 м, в горных — до 80 м), волнового размыва берегов, сложенных карстующимися породами.

По данным И. А. Печеркина, в береговой зоне Камского водохранилища, сложенной сульфатными породами, с 1 пог. м берега в течение года поступает в раствор около 80 т гипса.

В результате процессов растворения и волнового размыва сульфатных пород в течение одного-двух лет в береговой зоне возникают пещеры длиной 40—50 м и более, гроты и другие карстовые полости объемом в десятки и сотни кубических метров. Образование береговых ниш вызывает другой сопутствующий гео-

гический процесс — обвалы мощностью 10—15 м. На Братском водохранилище мощность обвалов до 30—40 м, а в поперечнике — 20—25 м.

В окрестностях Казани под влиянием Куйбышевского водохранилища, по данным М. С. Кавеева, в закарстованных пермских отложениях образовалось столько же карстово-суффозионных провалов, сколько за предыдущие пятьдесят лет. После создания Куйбышевского водохранилища были затоплены пойменные террасы Волги и Казанки, что привело к подпору грунтовых вод и подтоплению надпойменных террас. При разработке проекта защиты Казани (обвалование, дренаж) противокарстовые и противооползневые мероприятия не были предусмотрены. Под влиянием водохранилища произошло несколько случаев возобновления старых и образования новых карстово-суффозионных провалов.

Колебания уровня подземных вод коррелируются с колебанием уровня водохранилищ, провалы приурочены к зоне колебаний уровня и к контактам коренных и четвертичных отложений.

Суффозионный вынос частиц из покрова четвертичных пород в карстовые трещины и пустоты пермских отложений происходит вследствие вертикальной фильтрации, понижения уровня подземных вод в период спада уровня водохранилища.

На территории Москвы в последние годы активизировался карстово-суффозионный процесс, который сопровождается местными опусканиями и провалами поверхности земли, деформациями отдельных зданий и сооружений. Комплексные исследования, выполненные при участии и под руководством автора, показали, что карстово-суффозионный процесс развивается не повсеместно, а избирательно, при определенном сочетании природных и антропогенных факторов и условий.

В Москве, как известно, развит погребенный, разновозрастный (доюрский, доледниковый, послеледниковый) карбонатный карст, приуроченный к известнякам и доломитам C_3, C_2, C_1. Суффозионный процесс сочетается с карстовым и приурочен к песчано-глинистым четвертичным и юрским отложениям, покрывающим карстующиеся породы карбона.

Карбонатный карст развивается медленно. Наиболее активно карстовый процесс протекал в доюрскую континентальную эпоху, когда карбонатные породы выходили на поверхность земли и подвергались коррозионному воздействию внешних агентов. Карстовый процесс развивался в период таяния ледников и бурного развития эрозионной сети. На территории Москвы зафиксировано более 100 проявлений карста. В последние годы карстово-суффозионный процесс активизировался под влиянием следующих антропогенных факторов.

1. Интенсивный и длительный водозабор подземных вод, составляющий 900 тыс. м³/сут в Москве (с учетом пригородов) и 2,8 млн. м³/сут в масштабе московской агломерации. В результате откачек сформировалась огромная депрессионная воронка диаметром 150 км.

2. Снижение пьезометрических уровней по состоянию на 1975 г. в C_1 составило 110 м, в C_2 — 70 м и в C_3 — 10 м; суммарная сработка напоров в каменноугольных водоносных горизонтах — 190 м.

3. Разность в падении напоров вызвала вертикальную фильтрацию. Градиенты вертикальной фильтра-

ции изменяются от 0,5 до 33. Впервые в условиях Москвы появились безводные зоны в C_3 и C_2, которые стали подземными дренажами.

4. Местные понижения уровня грунтовых вод на величину 5—32 м.

5. Колебание уровней подземных вод, связанное с аритмичностью откачек, в пределах 5—15 м.

6. Утечки вод из подземных водонесущих сетей и разервуаров.

7. Повышение агрессивности подземных вод и интенсификация растворения карбонатных пород (за счет загрязнения агрессивными компонентами атмосферы, водоемов, почв и грунтов).

8. Активизация гидродинамических процессов вызвала суффозионный вынос продуктов кольматации из карстовых трещин, пустот и суффозионный перенос минеральных частиц из покровных отложений сверху вниз в связи с вертикальным перетоком грунтовых вод.

9. Статические и динамические нагрузки способствовали деформации пород, ослабленных карстово-суффозионным процессом.

Исследованиями автора установлена взаимосвязь древнего карста с современным. Деформации поверхности зданий и сооружений, вызванные антропогенными воздействиями последних лет, приурочены к участкам, где карст был подготовлен длительными естественными процессами. Исследования, выполненные в Москве, имели комплексный характер и включали: инженерно-геологическую съемку, глубокое бурение, полевые геофизические методы (радиоактивная и биофизическая съемки, ультразвуковое просвечивание, резистивиметрия с применением солевых индикаторов), статическое, динамическое зондирование, химические, минералогические, физико-механические, спорово-пыльцевые, радиоуглеродные и другие анализы и моделирование суффозионного процесса.

Исследования завершились рекомендациями и предложениями по усовершенствованию изысканий, проектирования и нового строительства на закарстованных территориях и по сохранению существующей застройки. Подробно вопрос о влиянии города на развитие карстового процесса освещен был автором в работе [62].

Типичный антропогенный карст наблюдается на территории Североуральского бокситового бассейна. Бокситы залегают здесь в толще закарстованных известняков девонской системы, которые перекрыты несвязными породами мощностью от 1 до 105 м. Антропогенный карст вызван водопонижением на глубине до 140—260 м, осуществляемым водоотливом из шахт, дренажными системами, отводом речных вод при помощи железобетонных каналов и колебаниями уровня подземных вод (до 20 м и более). Карстово-суффозионные проседания, воронки и провалы приурочены главным образом к площадям депрессий подземных вод и по времени образования совпадают с интенсивным водопонижением.

При водопонижении увеличиваются уклоны и скорости подземного потока (до 0,8—3 м/с) с превышением критической скорости (0,5—0,85 м/с) размыва супесей и суглинков, что приводит к декольматации карстовых пустот и трещин, размеры которых здесь достигают значительной величины.

Наряду с этим происходит нисходящий переток поверхностных и грунтовых вод и суффозионный вынос минеральных частиц из покровной толщи в карстовые пустоты известняков, в результате чего на по-

верхности земли образуются карстово-суффозионные проседания и провалы. По данным И. И. Плотникова и С. Г. Дубейковского, иногда в течение суток на 1 км² образовывалось до 36 провалов, глубина их в отдельных случаях превышала 80 м.

С 1956 по 1969 г. на площади 4.4 км² зафиксировано 526 карстово-суффозионных форм (в долинах рек Вагран и Колонга); 29 провалов произошло в железобетонной облицовке каналов. Поглощение речных вод провалами достигло величины 30 тыс. м³/ч. Прорывы вод из деформированных каналов сильно активизировали карстово-суффозионный процесс.

Антропогенный карст активизировался сбросом в реки рудничных вод, обогащенных агрессивными компонентами, которые, вторично попадая в карстовый массив, усилили растворение карбонатных пород [29]. Интересные сведения о развитии карбонатного карста под влиянием откачек подземных вод сообщил Р. Легет [87]. В США в районе Хирки возникло более 100 карстово-суффозионных воронок и сформировался карстовый ландшафт.

В Южной Африке в районе западного Раида вблизи Иоганнесбурга откачки с глубины более 3000 м вызвали образование карстовых воронок диаметром до 90 м, глубиной до 60 м. В 1962 г. здесь провалился завод, при этом погибло 29 человек [87, 88].

Дзержинская карстовая станция длительное время изучает характер и закономерности формирования природного и антропогенного карста. По данным этой станции, в городах Дзержинске, Павлове и других наблюдались карстово-суффозионные провалы, просадки, деформации зданий и сооружений под влиянием утечек воды из водопроводной сети, сброса вод различными предприятиями. В г. Павлове в 1967 и 1973 гг. происходили карстово-суффозионные провалы с образованием воронок диаметром 15 и 20 м.

Весьма опасными для карстующихся пород являются химически агрессивные промстоки, шахтные и рудничные кислотные воды. Технологические утечки сернокислых вод на Троицкой бумажной фабрике близ Калуги увеличили содержание серной кислоты в грунтовых водах. По данным И. А. Саваренского, в каменноугольных известняках, залегающих в основании зданий фабрики, образовались карстовые колодцы, каналы и другие пустоты, которые деформировали отдельные конструкции.

Рассмотрение данных, характеризующих проявления антропогенного карста, позволяет сделать следующие выводы. Развитие и распространение антропогенного карста контролируется, с одной стороны, зонально-климатическими и регионально-геологическими условиями и, с другой — характером воздействий человека на природную среду.

Действие антропогенных карстообразующих факторов в отличие от природных происходит в неизмеримо более короткое время, поэтому антропогенный карст наиболее активно и заметно проявляется в легкорастворимых породах (галит, тенардит, мирабилит, глауберит, сильвин, карналлит и др.) в виде различных крупных пустот и полостей. В средне- и труднорастворимых породах (сульфатные — ангидрит, гипс, карбонатные — известняк, доломит, мел, мрамор и другие крастующиеся породы) карст развивается медленнее, вначале протекает в скрытом виде и проявляется в увеличении пори-

стости, постепенном расширении трещин и т. п.; в более зрелую стадию развития на поверхности земли образуются провалы, воронки и просадки. Активный антропогенный карст чаще приурочен к проявлениям природного карста.

Антропогенный карст вызывает серию других сопутствующих геологических процессов, влияющих на природную среду. Происходят изменения гидрогеологических условий (смешение вод, загрязнение и исчезновение водоносных горизонтов), рельефа (образование провалов, котловин, оврагов, долин), гидрографической сети (исчезновение рек, ручьев, водоемов, образование карстовых озер); развитие обвалов, оползней и других геологических явлений.

Как природный, так и антропогенный карст наносят ущерб народному хозяйству. В связи с этим наука и практика ищут надежные пути и средства предупреждения и борьбы с карстом. Противокарстовые мероприятия осуществляются в следующих основных направлениях: а) тампонаж закарстованных пород методами цементации, битумизации, смолизации, глинизации с цементными добавками, химического кольматажа; б) понижение агрессивности вод способами химической (солевой) мелиорации (метод подпитывания, гидрозавесы, засоления и др.); в) обезвоживание массива способами водопонижения (скважинами, шахтами, штольнями, глубинными дренажами); г) отвод агрессивных вод с помощью водонепроницаемых завес, перемычек; д) ликвидация водопритоков поверхностных вод в закарстованный массив путем отвода водотоков, заключения их в коллекторы, лотки, а также устройства водонепроницаемых экранов в прудах, водохранилищах и каналах; е) приспособление (адаптация) конструкций зданий и сооружений (особенно фундаментов) к деформациям карстовых пород оснований. Это достигается повышением общей жесткости зданий и сооружений, применением монолитных железобетонных плитных (в том числе коробчатых) и ленточных уширенных сплошных фундаментов, металлических железобетонных поясов и др. Возможно применение гибких шарнирных конструкций; ж) устранение, нейтрализация или предупреждение воздействий, указанных на рис. 32.

Выбор эффективных способов противокарстовых мероприятий зависит от местных инженерно-геологических условий и особенностей строительных объектов. При борьбе с карстом имели место неудачи, особенно в районах развития соляного карста [56]. Необходима разработка теории противокарстовой мелиорации, обобщение отечественного и зарубежного опыта и поиск новых, более надежных, эффективных и недорогих способов борьбы с карстом.

Антропогенный карст менее изучен, чем природный. Учитывая, что он наносит ущерб народному хозяйству (разрушение ряда солепромыслов, деформации поверхности земли, подземных и наземных промышленных и гражданских сооружений), детальное изучение его представляет неотложную и важную задачу карстоведения.

ЗАБОЛАЧИВАНИЕ

В СССР площадь болот и заболоченных земель составляет 2,1 млн. км² (или 10%), в том числе в европейской части — 0,6 млн. км² (12%) и в азиатской части — 1,5 млн. км²

(9%). Болота и заболоченности распространены чаще на равнинах с неглубоким залеганием грунтовых вод, в зонах избыточного увлажнения и затрудненного поверхностного и подземного стока. В заболачивании земель проявляется зональность, которая увеличивается в направлении с юга на север. На севере европейской части страны заболачивание распространено на площади 60 млн. га. На площади развития торфяников верховые болота занимают 47%, низинные — 35%.

Крупные болотные массивы распространены в Западной Сибири, Полесье, Мещере, в пределах Молого-Шекснинской, Волхово-Ильменской, Барабинской, Колхидской низменностей. По запасам торфа СССР занимает первое место в мире.

Воздействия человека на процессы заболачивания идут в двух противоположных направлениях: ослабления и усиления заболачивания. Осушение болот и заболоченных земель проводится в связи с добычей торфа, запросами сельского и лесного хозяйства, строительства и благоустройства.

В 1913 г. площадь осушенных земель составляла всего 2,6 млн. га. К 1976 г. она достигла в нашей стране 10 млн. га и в перспективе значительно возрастет.

Мелиоративное осушение земель в значительном объеме выполнено в Белорусско-Украинском Полесье, Прибалтике, Карелии, в пределах Барабинской, Колхидской, Приднепровской низменностей и др. Около 95% осушаемых земель расположено в европейской части страны. Улучшилось качество осушительных систем. Открытые осушительные системы все больше заменяются закрытыми дренажами (44%, или свыше 4 млн. га).

В практике осушения болот в ряде случаев допускаются отдельные методические ошибки, которые приводят не к улучшению, а к ухудшению природной среды. Нельзя осушать все болота. Некоторые из них нужны как регуляторы поверхностного стока; накопители влаги — естественные водохранилища (в состав торфа входит 90% воды и 10% растительного вещества), обводняющие в засушливые годы нижерасположенную гидрографическую сеть; ягодохозяйственные угодья, дающие ценнейший продукт — клюкву (до 5—10 т с 1 га); экологические объекты, где обитают ценные водоплавающие птицы, животные, и т. п. Осушение болот в ряде мест, особенно на юге и юго-западе страны, в районах умеренного и недостаточного увлажнения, где питание болот происходит преимущественно за счет грунтовых вод, привело к нежелательным последствиям.

В ряде мест обмелели реки, исчезли родники, уменьшился дебит водозаборов; в связи с понижением уровня грунтовых вод снизилась урожайность лугов и пашень, катастрофически упал сбор клюквы, сократилось поголовье болотной фауны, пересушенный торф усилил ветровую эрозию. В северных районах европейской части страны осушение вызвало неблагоприятные изменения термического режима почв: глубина промерзания торфа увеличилась с 10—30 до 60—80 см, сезонная мерзлота стала сохраняться до середины и конца лета.

Работы по осушению болот и заболоченных земель следует проводить на научной основе, с учетом взаимосвязи природных процессов и явлений, а также природоохранной роли болот. Некоторые болотные массивы, имеющие научное, водохозяйствен

ное, сельскохозяйственное, экологическое, ягодохозяйственное, рекреационное значение, необходимо взять под охрану государства.

Во многих городах страны, где развито заболачивание (Архангельск, Ленинград, Рига, Таллин, Поти, Адлер, Омск, Ярославль и др.), производится дренирование, засыпка болот, намыв грунта, повышение отметок пойменных террас, осушение местности системой открытого и чаще закрытого дренажа, посадками эвкалиптов (дерево-насос) и др.

Антропогенное болотообразование развивается там, где имеют место подпор уровня грунтовых вод и выход их на поверхность в связи с инфильтрацией воды из водохранилищ, прудов и каналов; подтопление застроенных территорий, избыточные поливы на полях орошения, скопления атмосферных вод в антропогенных понижениях рельефа, зарастание мелких антропогенных водоемов и превращение их в болота, сброс хозяйственных и технических вод, образование болот на дне карьеров и др. Процесс антропогенного заболачивания представляет собой яркий пример совершенно недопустимого ухудшения природной геологической среды. При изысканиях, проектировании и эксплуатации инженерных сооружений и хозяйственных объектов следует прогнозировать развитие этого процесса и предусматривать защитные мероприятия.

ЭОЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ (ДЕФЛЯЦИЯ)

Эоловые процессы, вызванные деятельностью ветра, некоторые исследователи (Л. Д. Белый) называют аэродинамическими, но чаще они именуются дефляцией (deflatio выдувание).

В геологической деятельности ветра выделяют три стадии: выдувание, транспортировка материала, отложение (аккумуляция). Дефляция многофакторный геологический процесс, зависящий от климата, рельефа, растительного покрова, состава и свойств почв и грунтов, глубины залегания грунтовых вод, деятельности человека. Ветер способен выдувать, поднимать в воздух и переносить мелкодисперсные частицы по горизонтали на расстояние до 3000 км, по вертикали до 3000 м. Фронт пылевых бурь может достигать 1500 км. Базисом дефляции песков и супесей служит зона капиллярного поднятия грунтовых вод и слой невыдуваемого прочного грунта. В зависимости от скорости ветра могут перемещаться коллоидные, глинистые и песчаные частицы, при скорости более 15 м/с ветром переносятся гравелистые частицы размером более 2 мм.

Дефляция распространена во всех природных зонах Земли, но наиболее широко в аридной зоне, пустынях, полупустынях и степях. Это в значительной степени антропогенный процесс, когда работа ветра активизируется деятельностью человека, подготавливающей почвы и грунты для их перемещения ветром. Неслучайно процессы развевания и навевания приурочены к среде жизнедеятельности человека, что подтверждается исторически (развитие эоловых процессов с ростом земледелия, строительства, производства) и географически (освоение пустынь, полупустынь, степей).

К антропогенным факторам эоловых процессов относятся вырубка лесов, садов, уничтожение кустарников, травяного покрова, лесные по-

жары, распашка земель, неправильная агротехника, неумеренный выпас скота, искусственное иссушение почв и грунтов, обнажение развеваемых грунтов срезками и выемками, накопление развеваемых отвалов (терриконы и др.), устройство песчаных террас, насыпей, антропогенные деформации песчаных побережий, дюнного рельефа, разбарханивание пустынь движением транспорта и людей вне дорог, а также работой землеройной техники.

С расширением техносферы увеличивается интенсивность эоловых процессов и площадь их распространения.

Современная пустыня Сахара имеет площадь более 1 млн. га, а в прошлом она представляла собой плодородную равнину с поселками, городами и садами. Уничтожение леса и растительного покрова привело в движение пески, которые засыпали все, что было создано человеком на протяжении веков. В настоящее время пески наступают на юг со средней скоростью 1 км/год.

Движущимися песками на Земле погребено большое число городов, поселков, рудников, дорог, каналов, водохранилищ, рек, озер, плантаций. На юго-востоке Ирана (район Доулетабада) во время дорожных работ были обнаружены руины пяти погребенных средневековых городов, гибель которых археологи связывают с наступлением пустыни.

В СССР имеются огромные территории, благоприятные для развития эоловых процессов. Площадь пустынь, полупустынь и степей составляет более 6 млн. км^2 из общей площади 22,3 млн. км^2, или 26%, площадь распахиваемых земель — 242 млн. га (около 11% суши). За последние 60 лет пахота увеличилась в 2 раза. В среднем в год повреждается 5—6 млн. га посевов, в том числе становится полностью непригодной площадью в 0,5—1,5 млн. га. В целом за последние пять — семь лет выдувание почв увеличилось в 5—10 раз, а в некоторых районах — в 10—15 раз [3].

Общая площадь территории, где требуется проведение защитных мер от ветровой и водной эрозии, составляет около 185 млн. га пашни и ориентировочно 85 млн. га сенокосов и пастбищ. Дефляция широко развита в Средней Азии, Казахстане, Западной Сибири, на Северном Кавказе, юге Украины, в Нижнем Поволжье, Башкирии и др.

В результате дефляции возникают подвижные формы эолового рельефа: барханные, барханно-бугристые, бугристые, барханно-грядовые, бугристо-грядовые, дюнные, кучевые, полого-волнистые, котловины выдувания, песчаные моря и др.

Пески, движущиеся со значительной скоростью, обладают большой разрушительной силой. В Калифорнии песками «перепиливались» телеграфные столбы в течение года (неслучайно в технике применяются пескоструйные аппараты).

Пыльные бури в СССР в 1893, 1928, 1960 гг. имели характер стихийных бедствий. В 1928 г. пыльная буря, разразившаяся на юге европейской части СССР, охватила площадь в 40 млн. га и унесла с полей в Румынию, Польшу и другие страны 15 млн. т почвы. Сильные пыльные бури в 1960 г. на Северном Кавказе и в южной части Украины сняли слой почвы на глубину 7—10 см, а местами обнажили каменистую горную породу [3].

Пыльные бури средней интенсивности происходят ежегодно, нанося ущерб народному хозяйству. В За-

падной Сибири число дней с пыльными бурями с 1940 по 1970 г. в среднем составило от 0.2 до 34 в год, при скорости ветра от 6 до 46 м/с (критические скорости 6—12 м/с).

В Бурятии за последние 50—60 лет площади, занятые подвижными песками, в результате сведения лесов увеличились в 4—5 раз. Здесь уместно напомнить, что в свое время В. А. Обручев призывал проявлять осторожность при освоении новых территорий.

На Украине из 42,9 млн. га сельскохозяйственных угодий ветровой эрозии подвержено 4,6 млн. га. В настоящее время 11,8 млн. га пахотно пригодных земель Северного Казахстана являются эрозионноопасными. «Изучение песчаных пустынь СССР показало, что подвижные пески образуются преимущественно в результате неправильной хозяйственной деятельности человека, что они формируются только вокруг колодцев, дорог, населенных пунктов, т. е. там, где чрезмерный выпас скота или неупорядоченное движение транспорта разрушают тонкий растительный и почвенный покров на песках, оголяют их и делают песчаные массы доступными для перемещения ветром» [145, с. 39].

В США пыльная буря в 1934 г. унесла почву с 300 млн. га, полностью повредив 45 млн. га плодородной земли [145]. В Ираке массы движущихся песков распространены вблизи городов Байджи, Хилля-Дивания, в нижнем течении Евфрата. Барханы и др. Скорость движения барханов достигает 30—40 м/год. Дефляция усиливается при обработке почв вдоль преобладающих ветров, отвальной вспашке под пар, чрезмерном выпасе скота, с тех засухами и

В Нижней Австрии почти половина сельскохозяйственных земель подвержена ветровой эрозии. В Калифорнийской пустыне (США) движение транспорта вне дорог грозит превратить ее в «пыльный котел», в связи с чем ограничиваются поездки автотуристов. В Новом Южном Уэльсе (Австралия) на морском побережье протяженностью более 800 км находится 173 карьера глубиной до 50 м с отвалами, предназначенными для переработки рутиловых и цирконовых песков, что активизировало дефляцию и перемещение фронтальных дюн.

Подвижность прибрежных песков в курортных районах усиливается из-за нарушения людьми растительного покрова и дюнного рельефа.

Для борьбы с эоловыми процессами в СССР и за рубежом применяется широкий комплекс противодефляционных мероприятий, в который входит закрепление почв и грунтов ветроустойчивыми лесными, кустарниковыми и другими посадками, сохранение растительного покрова, применение противодефляционной агротехники (безотвальная обработка земель, направление борозд против господствующего направления ветров, полосное размещение сельскохозяйственных культур, орошение и др.), контроль за выпасом скота; ветрозащитные меры (пастбищные насаждения, улучшение травостоя); химическое закрепление подвижных песков (битумизация, смолизация, нефтевание, полимеризация, глинизация и др.); применение противодефляционных заслонов, барьеров; специальный охранный режим при землепользовании, строительстве и благоустройстве.

В СССР ведутся большие работы по предупреждению и борьбе с ветровой эрозией. В

стане и степных районах Западной Сибири на площади свыше 18 млн. га выполнен широкий комплекс противодефляционных агротехнических мероприятий; на Южном Урале, в Сибири и Казахстане на площади более 14 млн. га введена безотвальная обработка почв. В южных районах европейской части страны создано лесных насаждений на площади 300 тыс. га; в пустынных и полупустынных зонах Средней Азии закреплено несколько сотен тысяч га подвижных песков саксауловыми насаждениями, на площади 300 тыс. га — пастбищными. Для всех регионов разработаны генсхемы противодефляционных мероприятий, направленных на улучшение окружающей среды.

ГЛАВА IV

Антропогенные геологические процессы и явления

ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ АНТРОПОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ

Антропогенные геологические процессы и явления представляют собой самостоятельную генетическую категорию в систематике современных геологических процессов и явлений. Они протекают в земной коре и на поверхности земли и вызываются инженерно-хозяйственной деятельностью человека. В СССР их часто называют инженерно-геологическими. В литературе геологические процессы, обусловленные деятельностью человека, именуются, кроме того, техногенными, искусственными, поногенными, гоминидогенными, индустриальными, инженерно-географическими, агрогеологическими и др. Автор принял термин «антропогенные процессы и явления» (антропос — человек) как наиболее емкий и точный, поскольку он полно отражает генезис и охватывает разнообразие процессов и явлений, вызванных многими видами деятельности человека, причем не только инженерной, но и сельскохозяйственной, культурно-бытовой и другими, изменяющими геологическую среду.

Антропогенные геологические процессы и явления отличаются от природных количественно и качественно. Отдельные исследователи не признают принципиальной разницы между естественными геологическими и антропогенными геологическими процессами и явлениями. Они отрицают качественные различия между ними, признавая лишь количественные и не считают необходимым выделение антропогенных (инженерно-геологических) процессов и явлений. Наличие общих черт у природных и антропогенных геологических процессов и явлений, существование в природе их аналогов послужило основанием для отрицания самостоятельного значения и специфичности антропогенных геологических процессов и явлений.

Для четкого представления о соотношении природных и антропогенных геологических процессов и явлений рассмотрим главные черты их сходства и различия.

Природные и антропогенные геологические процессы и явления имеют следующие общие особенности:

1) они материальны, находятся в движении и непрерывном изменении;

2) и те и другие возникают и развиваются в земной коре в результате многообразных и сложных изменений ее состояния, поэтому и называются геологическими;

3) обе категории процессов и явлений образуются в результате изменения относительного равновесия сил, действующих в земной коре (сил

тяжести, горного давления, гидростатического давления и взвешивания, гидродинамического давления, молекулярного сцепления и т. п.);

4) существует зависимость тех и других процессов и явлений от природных зонально-географических и регионально-геологических условий.

Количественные отличия антропогенных геологических процессов и явлений состоят в том, что во времени они протекают быстрее природных и с большей интенсивностью. По скорости развития они могут превышать природные геологические процессы и явления в десятки, сотни, тысячи раз и более (антропогенные оползни, обвалы, сели, карст и др.). Многие природные процессы и явления развиваются постепенно и в течение длительного времени, зрелая стадия их наступает через сотни, тысячи лет и более. Антропогенные геологические процессы можно вызвать быстро и даже мгновенно, например обвал или оползень при искусственной подрезке склона, неправильном ведении земляных работ, заложении очень крутых откосов в выемках и насыпях.

Антропогенные геологические явления характеризуются присущими им большой скоростью и интенсивностью по сравнению с природными. Так, антропогенный соляной карст, возникающий при добыче соли способом подземного выщелачивания, развивается во много раз быстрее, чем природный соляной карст. Антропогенные геологические процессы протекают с большой интенсивностью и сопровождаются значительным и глубоким преобразованием природных условий.

Качественные отличия антропогенных геологических процессов и явлений следующие:

1) имеют специфический генезис, так как связаны с деятельностью человека;

2) являются результатом преимущественно не стихийных сил природы, а сознательного воздействия человека на природу, хотя элементы стихийности в их образовании пока еще имеют большое значение;

3) в большей степени предотвращаются и регулируются;

4) по характеру и направленности могут не соответствовать природным условиям местности, например сейсмические явления в несейсмической зоне, вызванные взрывами, рассоление пород в условиях аридного климата в результате противоселевой мелиорации, развитие оползней, обвалов, осыпей и других склоновых процессов в пределах плоской равнины при устройстве искусственных выемок и насыпей и пр.;

5) формируются избирательно в зависимости от характера деятельности человека;

6) среди факторов, формирующих эти процессы, характер воздействий человека на природу служит определяющим.

Как деятельность человека имеет отличие от деятельности природных факторов, так и антропогенные процессы и явления количественно и качественно отличаются от природных. Неправильно рассматривать количество в отрыве от качества, они взаимосвязаны и взаимообусловлены. Количество при известных условиях переходит в качество и обратно.

Некоторые исследователи, отрицающие качественную специфичность антропогенных геологических процессов и явлений, обычно ссылаются на пример с водохранилищами, считая их полным аналогом природных озер и полагая, что геологические процессы и явления, приуроченные

к системе искусственных водохранилищ и природных озер, абсолютно идентичны и тождественны. Детальные и глубокие исследования водохранилищ и связанных с ними геологических процессов и явлений, выполненные в последние годы, показывают несостоятельность этой точки зрения. Рядом исследований убедительно доказано принципиальное различие в закономерностях развития геологических процессов и явлений на крупных искусственных и естественных водоемах. Так, по данным С. Л. Вендрова [13], различие в генезисе и гидрологическом режиме естественных озер и искусственных водохранилищ обусловило индивидуализацию режима волнения, параметров волн, осадкообразования, формирования рельефа дна и берегов водохранилищ, скорости переработки берегов, гидрогеологического режима прилегающей местности, биологии водоемов, химического состава вод и др.

Большие колебания уровня в водохранилищах в значительной мере обусловлены влиянием антропогенных факторов. Они, в свою очередь, служат причиной ряда сопутствующих процессов и явлений: попеременного затопления и осушения прибрежной территории; заболачивания местности; формирования неустановившегося режима грунтовых вод и зоны аэрации; изменения во времени физического состояния верхней толщи пород, связанного с попеременным их смачиванием и осушением; усиления эрозии, оползневых процессов и понижения устойчивости береговых склонов; изменения режима осадкообразования в прибрежной полосе водохранилищ и др.

Для характеристики соотношения природных и антропогенных геологических явлений необходимо отметить, что в формировании тех и других большую роль играют региональные условия среды. Наблюдается зависимость геологических явлений от природной обстановки. К регионально-зональным элементам, влияющим на формирование антропогенных геологических процессов и явлений, относятся геотектонические строение территории, состав, характер и условия залегания пород и подземных вод, неотектонические проявления, рельеф, климат, растительный покров, почвы, состояние гидрографической сети и др.

Степень зависимости явлений от регионально-зональных условий среды различная. Явления могут быть зональными, азональными и интразональными. Примером зональности возникновения и развития только в определенной географической зоне могут служить геокриогенные процессы и явления, присущие зоне распространения многолетней мерзлоты (термокарст, термопросадки, наледи, ледопады, гидролакколиты и пр.). Зональны также процессы и явления, связанные с проявлением сезонной мерзлоты (морозное пучение, просадки, солифлюкция и др.). Явления карста, просадок лёссовых пород, вторичного засоления почвогрунтов и другие носят зональный характер, хотя степень зональности (обусловленная характером географической зоны) этих явлений неодинакова.

К азональным антропогенным геологическим процессам и явлениям относятся гравитационные смещения пород (осыпи, обвалы), абразия берегов, многие эндолитогенные процессы и явления (суффозия, плывуны, сыпуны, осадки, выпирание, стреляние и др.). Они развиты во всех географических зонах, однако

проявляются по-разному, так как нет геологических явлений, которые абсолютно не зависят от окружающей среды. Поэтому при выделении зональных явлений принимается некоторая условность. Например, гравитационные смещения пород (осыпи, обвалы) проявляются во всех географических зонах, и в этом смысле они азональны. Вместе с тем характер, интенсивность и скорость развития их в различных зонах разные. В условиях резко континентального климата интенсивность гравитационных смещений пород повышена, поскольку процесс выветривания пород здесь протекает активнее, чем в других климатических зонах. В этом смысле такие и подобные им явления в какой-то мере испытывают влияние климатических зон. Количественно это влияние и взаимообусловленность явлений от географических зон может выражаться в широких пределах — от нуля до 100%.

Основным критерием для выделения зональных явлений, по мнению автора, должна являться возможность появления и развития явления в той или иной зоне. Вместе с тем необходимо классифицировать явления по степени их зональности, что особенно важно для таких процессов и явлений, как выветривание пород, оползни, карст и др., которые одновременно и зональны, и азональны.

Характер и интенсивность развития антропогенных геологических процессов и явлений контролируется, кроме того, вертикальной географической зональностью (вертикальные зоны рельефа, климата, растительности, процессов денудации в горных районах и пр.), а также вертикальной зональностью подземных вод, геотермических условий и др.

В формировании антропогенных геологических процессов и явлений в отличие от природных ведущая роль принадлежит искусственным факторам.

В зависимости от вида деятельности человека и характера воздействий его на природную обстановку избирательно изменяются природные условия местности, формируются и дифференцируются специфические комплексы антропогенных геологических процессов и явлений в городах, на месторождениях добычи твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых, в районах строительства и эксплуатации промышленных, гидротехнических, транспортных и других сооружений.

Перечень комплексов антропогенных геологических процессов и явлений, связанных с различными отраслями и видами производственной деятельности человека, представлен в работе автора [65].

А. Е. Ферсман неоднократно подчеркивал существование двойной зависимости между человеком и природой. Человек видоизменяет природу, но и сам зависит от природы [156]. Эта двойная зависимость проявляется и в антропогенных геологических процессах и явлениях. Они вызываются деятельностью человека и, в свою очередь, влияют на его практику. Так, человек видоизменяет конструкции сооружений, осуществляет различные инженерно-геологические мероприятия, чтобы избежать отрицательного воздействия на них антропогенных геологических явлений.

Антропогенные геологические процессы характеризуются следующими основными особенностями и закономерностями развития:

1) различаются по месту действия и проявления (внутри массива пород, в подземных выработках, на поверхности земли, склонах и откосах);

2) по характеру распространения разделяются на точечные, очаговые, локальные (местные), линейные, крупноплощадные, региональные и глобальные;

3) по условиям проявления бывают обратимыми и необратимыми, скрытыми и четко выраженными. Наиболее опасен недостаточный учет скрытых и обратимых процессов;

4) по скорости развития разделяются на медленные (вековые), средней скорости и быстро протекающие;

5) при прямых воздействиях человека возникают чаще и развиваются быстрее;

6) при косвенных воздействиях возникают реже и развиваются медленнее;

7) различаются наземные, приповерхностные и глубинные;

8) по характеру взаимодействия с грунтами разделяются на литогенные (связанные с грунтами, например просадки, осадки, провалы, карст, оползни, пучение и пр.) и внелитогенные (непосредственно не связанные с грунтами, например заболачивание, затопление, наледи, накопление твердых отходов и т. п.);

9) наибольшее развитие имеют процессы, связанные с антропогенными изменениями подземной и поверхностной гидросферы, рельефа и грунтов;

10) максимальное развитие и повышенную динамичность имеют в зоне многолетней мерзлоты. горно-складчатых областях, береговой зоне рек, озер, водохранилищ. морей и океанов;

11) как и природные геологические процессы. характеризуются своим возрастом, временем появления, существования и отмирания;

12) в зоне многолетней мерзлоты преобладают антропогенные мерзлотные явления, в горных странах — склоновые процессы. в прибрежной полосе — береговые процессы, в зоне пустынь и полупустынь — дефляция, эоловые процессы, разбарханивание, засоление и др. Многие процессы интенсивнее развиваются не при строительстве. а при эксплуатации сооружений.

Изучение законов взаимодействия человека и геологической среды имеет большое теоретическое и народнохозяйственное значение.

С проявлением антропогенных геологических процессов и явлений связано в среднем около 70% всех случаев деформаций, повреждений и аварий зданий и сооружений Бо́льшая часть антропогенных геологических процессов оказывает отрицательное воздействие на природную геологическую среду, уродует и ухудшает ее. Увеличивается площадь антропогенного бедленда («дурных» земель). В городах СССР площадь непригодных для освоения земель в среднем составляет 10—15%, а в отдельных городах достигает 35—40% (Тула, Пенза и др.). Задача предупреждения и эффективной борьбы с отрицательно действующими геодинамическими явлениями приобрела большое государственное значение.

КЛАССИФИКАЦИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ

Многолетними исследованиями автора установлено, что антропогенные геологические процессы и явления, так же как и природные, характеризуются большим разнообразием и в не меньшей мере требуют систематизации.

Классифицирование — это теоретическое обобщение, систематизация изученных процессов и явлений по соответствующим таксономическим подразделениям. Состояние классифицирования отражает уровень науки, эволюцию ее от стадии собирания фактов к стадии их систематизации и обобщения. В инженерной геодинамике, как и в других отраслях геологических знаний, нужны не только общие, но и частные и региональные классификации.

Первые классификации инженерно-геологических (антропогенных) процессов и явлений в СССР разработаны В. А. Приклонским (1951 г.), Л. Д. Белым (1957 г.), Ф. В. Котловым (1959, 1962, 1963, 1966, 1967, 1968—1972 гг.), Н. Я. Денисовым (1960 г.). П. Н. Панюковым (1956, 1962 гг.) и др. В них отражены разные подходы и аспекты систематизации инженерно-геологических процессов и явлений.

В табл. 12 и на рис. 36 приводится новая общая генетическая классификация антропогенных геологических процессов и явлений, разработанная автором в 1974 г. В ней выделено три таксономических подразделения: группа, класс и вид. В таблице указаны искусственные факторы, вызывающие процессы и явления.

Группы объединяют совокупности генетических комплексов антропогенных геологических процессов и явлений, связанных с главными направлениями антропогенных изменений литосферы, подземной и поверхностной гидросферы. Классы включают процессы и явления, выделенные в генетические комплексы по характеру изменений грунтов, подземных и поверхностных вод. Виды — элементарная классификационная единица — это сами процессы и явления.

В классификации выделено 5 групп, 17 классов и 92 вида антропогенных геологических процессов и явлений. Эти цифры свидетельствуют о большом их разнообразии и необходимости систематизации. В последние годы появились региональные классификации инженерно-геологических процессов и явлений, разработанные для ряда городов и промышленных районов СССР: Москвы (Ф. В. Котлов, 1962 г.), Одессы (Ф. В. Котлов, 1968 г.), Ташкента (А. М. Худайбергенов, 1963 г.), Улан-Удэ (С. Ц. Осодоев, 1970 г.), Баку (Ф. В. Котлов, 1972 г.), Омска (Н. И. Барац, 1975 г.), Березовского газоносного района (М. Ф. Хасанов, 1975 г.) и др.

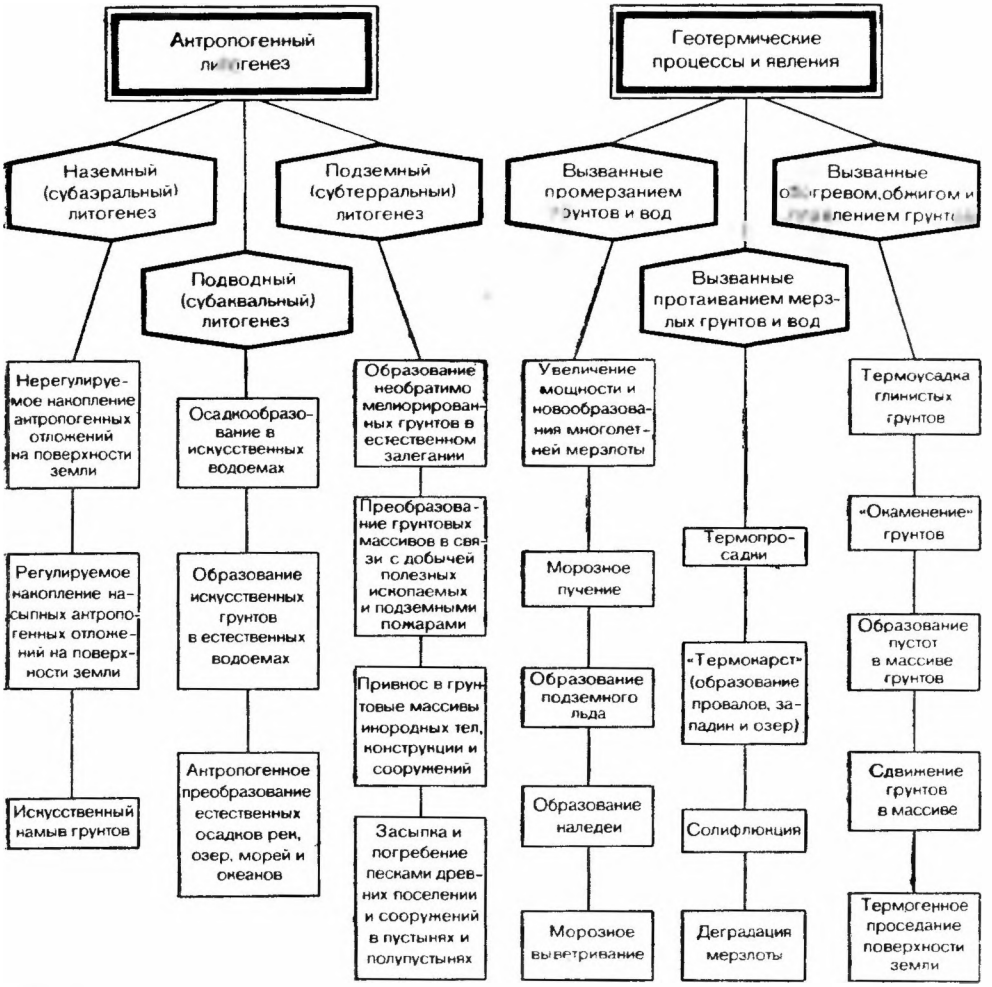
Автором разработана типизация геологических процессов и явлений применительно к различным отраслям и видам деятельности человека.

Выделены процессы и явления, обусловленные: 1) добычей полезных ископаемых, 2) строительством и эксплуатацией городов и промышленных центров, 3) гидротехническим строительством, 4) эксплуатацией дорог, 5) сельским хозяйством. Для каждого из видов деятельности характерен специфический комплекс процессов [65].

Исследования по разработке и конкретизации общих, частных и регио-

нальных классификаций антропогенных геологических процессов и явлений необходимо развивать. Общая классификация этих процессов наглядно демонстрирует, насколько многообразна и сложна современная ноосфера.

РИС. 36.
Классификация антропогенных геологических процессов и явлений



Геотермические процессы и явления

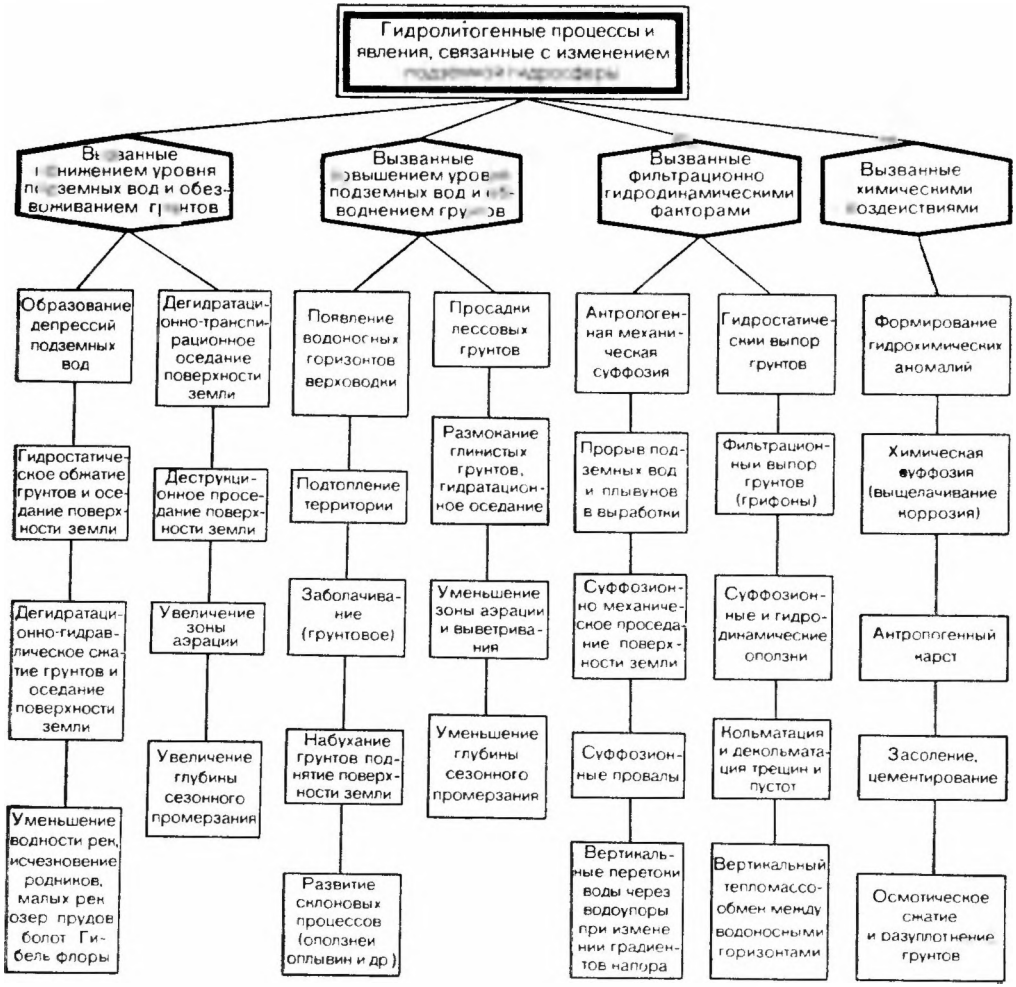
Естественное термическое поле Земли изменяется под влиянием различных видов деятельности человека. Возникают антропогенные термические поля, размеры, форма и структура которых зависят от характера температурных воздействий человека.

Искусственные термические воздействия подразделяются автором на

прямые и косвенные; целенаправленные и стихийные; вековые, длительные и кратковременные; поверхностные, приповерхностные и глубинные; обратимые и необратимые.

Антропогенные термические воздействия, изменяющие природный тепловой балане, процессы теплообмена на границах литосфера — атмосфера, литосфера — гидросфера — атмосфера, литосфера — сооружения — атмосфера весьма многообразны. Факторы, повышающие и понижающие температуру Земли, действуют одновременно во всех природных зонах Земли, что обусловливает образование сложного природно-антропогенного (смешанного) термического поля.

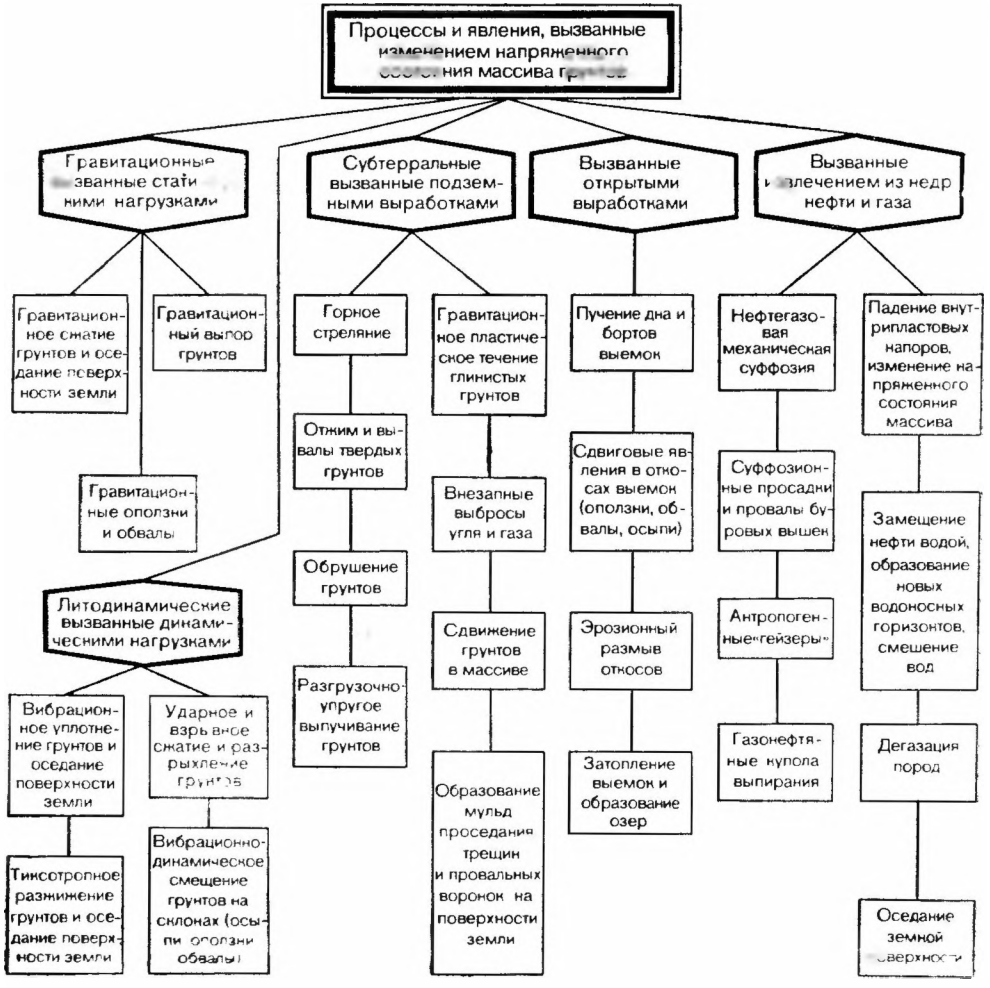
Антропогенные геотермические процессы и явления проявляются с наибольшим разнообразием и интенсивностью и приносят максимальный экономический ущерб в зоне



многолетней мерзлоты, площадь которой на планете составляет 24% суши, в СССР -- 49,7%. Мощность многолетней мерзлоты в нашей стране колеблется от 0 до 700 м, достигая максимума в Северной Якутии; температура изменяется от минус 0,1 до минус 16° С.

Зона многолетней мерзлоты охватывает северную часть европейской территории страны, часть Западной и Восточной Сибири, Забайкалья, Якутию и Северо-Восток страны. В зоне многолетней мерзлоты расположены крупнейшие промышленно-экономические районы.

Область сезонной мерзлоты распространена на большей части площади страны, где расположено более 1500 городов и городских поселков. Глубина сезонного промерзания в Забайкалье достигает 6 м. При прямых термических воздействиях происходит непосредствен-



ная кондуктивная или индуктивная передача тепла или холода грунтам. Косвенные воздействия только способствуют повышению или понижению температуры благодаря термопоглощению или термоотражению; они регулируют распределение температурной нагрузки на грунты, изменяя условия природной среды.

Ареалы площадного воздействия факторов целесообразно разделять на региональные, крупноплощадные, местные и локальные.

В группе антропогенных геотермических процессов и явлений (см. рис. 36) автором выделяются три класса, вызванные: 1) промерзанием грунтов и подземных вод, 2) протаиванием мерзлых грунтов и 3) обогревом, обжигом и плавлением грунтов. Кратко рассмотрим проявления антропогенных геотермических процессов.

Процессы и явления, вызванные промерзанием грунтов и подземных вод

К ним относятся морозное выветривание, подземное льдообразование, морозное пучение, наледи, полигональные образования, «перелетки», нарастание и образование (аггрaдация) многолетней мерзлоты. Наиболее распространены морозное выветривание и морозное пучение.

Процессы литогенного льдообразования, формирования и распада криогенных текстур, морозобойное трещинообразование и другие виды гипергенеза преобразуют структуру грунтов, диспергируют их и понижают прочностные свойства. Антропогенный термогипергенез усиливается при проходке открытых выработок, ликвидации снежного и растительного покрова и при искусственном водопонижении, что активизирует воздействие внешних агентов выветривания.

Морозное выветривание разрушает не только грунты, но и железобетонные конструкции фундаментов (под влиянием температурных перепадов происходит дезинтеграция бетона). На рис. 37 показаны деформации жилого дома в г. Якутске, вызванные мерзлотным разрушением железобетонных фундаментных опор.

ТАБЛИЦА 12

КЛАССИФИКАЦИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ

Группа	Класс	Вид	Искусственные факторы, вызывающие процессы и явления и способствующие их развитию
Литогенетические процессы и явления (антропогенный литогенез)	I. Наземный (субаэральный) литогенез	1. Стихийное накопление антропогенных отложений на поверхности земли	Существование города и связанное с ним накопление строительных, промышленных, горных и хозяйственно-бытовых отходов
		2. Регулируемое накопление насыпных антропогенных отложений на поверхности земли	Устройство земляных сооружений (строительные, дорожные насыпи, дамбы, плотины, валы и др.), грунтовые отвалы из выработок; складирование производственных отходов
		3. Искусственный намыв грунтов	Намыв искусственных террас, стройплощадок, пляжей, земляных сооружений, хвостохранилищ, вскрышных грунтов из карьеров
	II. Подводный (субаквальный) литогенез	4. Осадкообразование в искусственных водоемах	Устройство водохранилищ, каналов, озер, прудов
		5. Образование искусственных грунтов в естественных водоемах	Строительство подводных каналов, дамб и других сооружений, устройство подводных свалок
		6. Антропогенное преобразование естественных осадков рек, озер, морей и океанов	Привнос и аккумуляция естественными водоемами компонентов загрязнения атмосферы, биосферы, почв, грунтов и подземной гидросферы
	III. Подземный (субтерральный) литогенез	7. Образование необратимо мелиорированных грунтов в естественном залегании	Применение силикатизации, цементации, битумизации, смолизации, ожелезнения, обжига и других способов мелиорации
		8. Преобразование структуры, состояния и свойств грунтовых массивов в связи с добычей полезных ископаемых и подземными пожарами	Применение горного способа добычи, подземной газификации углей (ПГУ), перегонки сланцев, выплавления (серы и др.), выщелачивания водой, щелочами и кислотами. Подземное горение углей, сланца, торфа и др.
		9. Накопление в грунтовых массивах инородных тел, конструкций и сооружений	Закладка и тампонаж подземных выработок (штолен, штреков, катакомб и пр.), засыпка шахт. Накопление остатков фундаментов, свай, колодцев, погребов, дренажей и различных сооружений

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 12

Группа	Класс	Вид	Искусственные факторы, вызывающие процессы и явления и способствующие их развитию
		10. Засыпка и погребение песками древних городов, поселков, различных сооружений в зоне пустынь и полупустынь	Засыпка городов, поселков, дорог, ирригационных и других сооружений в зоне активного развития эоловых процессов
Геотермические процессы и явления	IV. Вызванные промерзанием грунтов и подземных вод	11. Морозное пучение грунтов	Искусственное замораживание (11, 14)
		12. Образование подземного льда (гидролакколиты, ледяные бугры, пластовые льды)	Утечки вод из водонесущих сетей и превращение их в лед в зоне промерзания грунтов (11, 12, 13)
		13. Образование наледей	Искусственное повышение уровня грунтовых вод с выходом их на поверхность и последующим замерзанием. Выход и промерзание грунтовых вод в искусственных откосах (13)
		14. Морозное выветривание	Увеличение глубины промерзания под влиянием уничтожения снегового и растительного покрова, водоемов и понижения уровня грунтовых вод (11—15)
		15. Увеличение мощности многолетней мерзлоты и ее новообразования	Нарушение теплообмена вследствие повышения альбедо (15) Консервация снежного покрова. Устройство холодильников и подземных льдохранилищ. Аккумуляция холода в подземных выработках. Затенения в городской застройке (15)
	V. Вызванные протаиванием мерзлых грунтов и льдов	16. Термопросадки	Утепляющее воздействие застройки городов и поселков, подземных горных выработок и сооружений (16, 17, 19)
		17. «Термокарст»	Спуск в грунт горячих и теплых сточных вод (16, 17, 19)
		18. Солифлюкция	Термическая мелиорация мерзлых грунтов (оттаивание и др.) (19)
		19. Деградация многолетней мерзлоты	
	VI. Вызванные обогревом, обжигом и плавлением грунтов	20. Термоусадка глинистых грунтов	Повышение температуры грунтов нагретыми объектами (горячие цеха, печи, котлы, теплопроводы и пр.) (20)
		21. Окаменение грунтов	Прогрев и обжиг грунтов в целях мелиорации (20, 21)
		22. Образование пустот в массиве грунтов	

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 12

Группа	Класс	Вид	Искусственные факторы, вызывающие процессы и явления и способствующие их развитию
		23. Сдвижение грунтов в массиве	Подземная газификация и перегонка углей и сланцев. Подземные пожары антропогенного типа и др. (20—24)
		24. Термогенное проседание поверхности земли	Подземное расплавление полезных ископаемых (серы и др.) (21—24)
Гидролитогенные процессы и явления, вызванные изменением подземной гидросферы	VII. Вызванные понижением уровня подземных вод и обезвоживанием грунтов	25. Образование депрессий подземных вод	Осушение грунтов средствами технической мелиорации (25, 27, 30—31)
		26. Гидростатическое обжатие грунтов и оседание поверхности земли	Откачки подземных вод при строительстве и горных работах. Длительные эксплуатационные откачки подземных вод различных типов (25—27, 29—31)
		27. Дегидратационно-гидравлическое сжатие грунтов и оседание поверхности	Уменьшение инфильтрации атмосферных осадков, вызванное застройкой территории, применением водонепроницаемых покрытий, снегоуборкой, устройством водостоков, вырубкой лесов и пр. (25, 30, 31)
		28. Дегидратационно-транспирационное оседание поверхности земли	
		29. Деструкционное проседание поверхности	Транспирационное водопонижение осушение грунтов (28)
		30. Увеличение зоны аэрации и глубины сезонного промерзания	Разложение (деструкция) органических веществ в связи с длительным водопонижением (25, 28—30)
		31. Уменьшение водности рек, исчезновение родников, малых рек, озер, болот, гибель растительности	
	VIII. Вызванные повышением уровня подземных вод, обводнением и увлажнением грунтов	32. Появление новых водоносных горизонтов, верховодки	Инфильтрация воды из искусственных водоемов (32—40) Уничтожение естественных дрен (32—39)
		33. Подтопление территории, затопление подвалов и выработок	Спуск сточных вод. Утечки воды из подземных водонесущих сетей и резервуаров. Искусственное орошение земель, поливы (32—40)
		34. Заболачивание (за счет грунтовых вод)	Снежные свалки (32, 38, 40) Поступление воды с полей фильтрации (32—40)

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 12

Группа	Класс	Вид	Искусственные факторы, вызывающие процессы и явления и способствующие их развитию
		35. Гидратационное набухание грунтов, поднятие поверхности земли 36. Просадки лёссовых грунтов 37. Размокание, уменьшение прочности связных грунтов, гидратационное оседание 38. Уменьшение зоны аэрации и выветривания 39. Уменьшение глубины сезонного промерзания 40. Развитие склоновых процессов (оползней, оплывин и др.)	Подпор грунтовых вод подземными сооружениями (32—39) Конденсация влаги под зданиями и сооружениями (32, 33, 35, 36)
	IX. Вызванные изменением фильтрационно-гидродинамического режима	41. Антропогенная механическая суффозия 42. Прорыв подземных вод и плывунов в выработки 43. Вертикальный водообмен через водоупоры при изменении градиентов напора 44. Вертикальный тепломассообмен между водоносными горизонтами 45. Суффозионно-механическое проседание поверхности земли 46. Суффозионные провалы 47. Гидростатический выпор грунтов 48. Фильтрационный выпор грунтов (грифоны)	Напорная фильтрация из искусственных водоемов (41, 42, 48) Откачки подземных вод (41, 43) Открытый водоотлив из выработок (41, 43) Напорные градиенты водоносных горизонтов (43) Образование градиентов напора и фильтрации при устройстве подземных и поверхностных выработок и образование депрессий (41, 42, 45. 47. 48. 49. 50)

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 12

Группа	Класс	Вид	Искусственные факторы, вызывающие процессы и явления и способствующие их развитию
		49. Кольматация и декольматация трещин и пустот 50. Суффозионные и гидродинамические оползни	
	X. Вызванные изменением химического режима	51. Формирование гидрогеохимических аномалий 52. Химическая суффозия (выщелачивание, коррозия) 53. Антропогенный карст 54. Засоление, цементирование 55. Осмотическое сжатие и разуплотнение грунтов	Антропогенная коррозия (инфильтрация кислот, щелочей и других растворителей) (52) Напорная фильтрация агрессивных вод в зоне влияния водонапорных гидротехнических сооружений (52, 53) Искусственное подземное выщелачивание и растворение грунтов (при добыче солей, создании полостей и пр.) (52, 53, 55) Ирригационное засоление грунтов (54) Диффузионное выщелачивание и засоление (55) Засоление грунтов в связи с повышением минерализации вод (54, 55) Инфильтрационный привнос солей из культурного слоя и удобряемых почв (54, 55) Инфильтрация сточных минерализованных вод (54, 55)
Процессы и явления, вызванные изменением напряженного состояния массива грунтов	XI. Гравитационные процессы и явления, вызванные статическими нагрузками	56. Гравитационное сжатие грунтов и оседание поверхности земли 57. Гравитационный выпор грунтов 58. Гравитационные оползни и обвалы	Давление массы зданий, сооружений и пр. (56—58) Мелиоративное уплотнение сильно сжимаемых грунтов способом пригрузки (56) Нагрузки, превышающие сопротивление грунтов сжатию и сдвигу в основании зданий и сооружений (57) Искусственное нагружение склонов и откосов (58)
	XII. Литодинамические (вызванные динамическими и ударными нагрузками)	59. Вибрационное уплотнение грунтов и оседание поверхности земли 60. Тиксотропное разжижение грунтов и оседание поверхности земли	Уплотнение рыхлых грунтов поверхностными и глубинными вибраторами (59) Уплотнение массива грунтов взрывным способом (61) Вибрационные и ударные воздействия транспорта, машин и механизмов (59, 60, 62)

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 12

Группа	Класс	Вид	Искусственные факторы, вызывающие процессы и явления и способствующие их развитию
		61. Ударное и взрывное сжатие и разрыхление грунтов	Ведение горных и других работ взрывными способами (60—62)
		62. Вибрационно-динамическое смещение грунтов на склонах и откосах (оползни, обвалы, осыпи и др.)	Воздействия бомб, снарядов, мин, ракет, фугасов и пр. (60—62)
	XIII. Субтерральные, вызванные вскрытием массива грунтов подземными выработками	63. Горное стрелянне 64. Отжим и вывалы твердых грунтов 65. Обрушение грунтов 66. Разгрузочно-упругое выпучивание грунтов 67. Гравитационное пластическое течение глинистых грунтов 68. Внезапные выбросы угля и газа 69. Сдвижение грунтов в массиве в зоне подработки 70. Образование мульд проседания, трещин и провальных воронок на поверхности земли	Подземная добыча полезных ископаемых (63—70) Строительство и эксплуатация метрополитенов, транспортных и гидротехнических тоннелей, подземных автодорог, пересечений, гаражей (63—67, 69, 70) Древние подземные города, монастыри, храмы, кладбища, устройство подземных хранилищ, укрытий, предприятий фортификационных сооружений и пр (63—67, 69, 70)
	XIV. Вызванные вскрытием массива грунтов открытыми выработками	71. Пучение дна и бортов выемок (разгрузочно-упругое и пластическое выдавливание) 72. Сдвиговые явления в откосах выемок (оползни, обвалы, осыпи и др.) 73. Эрозионный размыв откосов 74. Затопление выемок и образование озер	Устройство строительных котлованов, траншей, карьеров, дорожных выемок, каналов, фортификационных выемок и др. (71—74)

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 12

Группа	Класс	Вид	Искусственные факторы, вызывающие процессы и явления и способствующие их развитию
	XV. Вызванные извлечением из недр земли нефти и газа	75. Нефтегазовая механическая суффозия	Добыча нефти и газа через буровые скважины (75, 76, 79—82)
		76. Нефтегазовые суффозионные просадки и провалы буровых вышек	Прорыв и выброс нефти и сжатых газов при их добыче (77, 78)
		77. Антропогенные «гейзеры»	
		78. Газонефтяные купола выпирания	
		79. Падение внутрипластовых напоров, изменение напряженного состояния массива	
		80. Замещение нефти водой, смешение вод, образование новых водоносных горизонтов, изменение гидрогеологического режима	
		81. Дегазация пород	
		82. Оседание поверхности земли, связанное с эксплуатацией нефти и газа	
Процессы и явления, вызванные изменением поверхностной гидросферы	XVI. Вызванные созданием антропогенной гидрографической сети (водохранилища, каналы, озера, пруды, болота)	83. Затопление, подтопление и заболачивание местности	Подпор рек и ручьев плотинами, создание каналов, прудов и озер (83—88) Ветровые и судовые волны и течения (84, 85)
		84. Переработка берегов	
		85. Береговые оползни и обвалы	
		86. Антропогенное субаквальное осадкообразование	Механическая, химическая и биогенная седиментация (86) Создание полей орошения (83, 86)
		87. Просадки лёссовых грунтов	Замачивание и размыв лёссовых грунтов поверхностными водами (87)
		88. Антропогенный карст	

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 12

Группа	Класс	Вид	Искусственные факторы, вызывающие процессы и явления и способствующие их развитию
	XVII. Вызванные нарушением естественного стока атмосферных вод	89. Антропогенная эрозия (овраги, рытвины, промоины и пр.)	Дефекты вертикальной планировки местности и регулирования стока поверхностных вод (89—92)
		90. Заболачивание (за счет поверхностных вод)	Сброс вод и снега в овраги, балки, на склоны и откосы (89, 91, 92)
		91. Антропогенные сели	Размыв склонов в искусственных выемках и насыпях (89, 92)
		92. Антропогенные оползни и оплывины	Внезапный прорыв грунтов и вод из грунтохранилищ вследствие обводнения (91)

Примечание. Цифры в скобках в графе 4 — номера видов антропогенных геологических процессов и явлений, перечисленных в графе 3.

Морозное пучение — широко распространенный и в значительной мере антропогенный процесс, так как в его формировании большая роль принадлежит антропогенным факторам (изменение термического, влажностного режима грунтов и пр.).

В геокриозоне в связи с антропогенным изменением естественного режима поверхностных и подземных вод образуются бугры пучения высотой до 2—10 м и более, диаметром в основании 5—10—50 м.

Пучение часто наблюдается на пойменных террасах, среди торфянистых грунтов. Иногда образуются бугристый рельеф, значительные по размерам поля бугров пучения. На застроенных территориях в связи с увеличением влажности грунтов усиливаются морозное пучение и деформации гражданских и промышленных зданий и сооружений (Якутск, Воркута, Сургут, Нижневартовск, Чита, Норильск, Архангельск, Ленинград и др.).

Пучение вызывает неравномерное поднятие легких зданий и сооружений, вследствие чего в несущих конструкциях возникают деформации. Иногда сезонное (зимнее) пучение не полностью компенсируется просадкой и тогда формируется остаточное пучение, которое в многолетнем разрезе достигает значительной величины (до 3 м). Пучение вызывает также разрыв подземных коммуникаций.

Вследствие остаточного пучения из грунта могут выдавливаться (вымораживаться) твердые тела (сваи, столбы, реперы, шпунтины, колодцы, фундаменты, глыбово-обломочный материал и пр.). На рис. 38 показан уникальный пример морозного выпучивания столба, которое наблюдалось на Сковородинской мерзлотной станции ЦНИИСа Минтрансстроя СССР. Столб за 38 лет выпучился на 220 см.

В зоне многолетней и сезонной мерзлоты широко распространены

дорожные пучины на уличных магистралях ряда городов, на железных и автомобильных дорогах, аэродромах. Так, на ж.-д. линии Томск — Асино протяженность мест пучения достигла 20% от развернутой длины дороги, на анжерской дистанции Транссибирской магистрали — 27%. На автотрассах Тюменской области наибольшие деформации земляного полотна наблюдаются на участках, где дорожные насыпи возводились на пучинистых грунтах.

Морозное пучение часто наблюдается при искусственном замораживании грунтов (охлаждение грунтов до температуры минус 10—25° С), которое получило в СССР широкое применение.

Морозное пучение и просадки грунтов — типичные антропогенные азональные процессы, которые могут возникнуть в любой климатической зоне при искусственном замораживании грунтов. При использовании замораживания в градостроительстве величина морозного пучения в глинистых грунтах колеблется от 50 до 600 мм.

Подземное льдообразование в виде ледяных пластов, прослойков, жил, гидролакколитов и других форм связано с охлаждением и промерзанием грунтов и подземных вод. Оно нередко сопровождается выпором вышележащих грунтов. Суммарный объем ископаемых льдов на Земле составляет 500 тыс. км³. Подземное льдообразование принимает антропогенный характер вследствие утечки воды из водонесущих коммуникаций при подтоплении застроенных территорий, образовании верховодки и новых во-

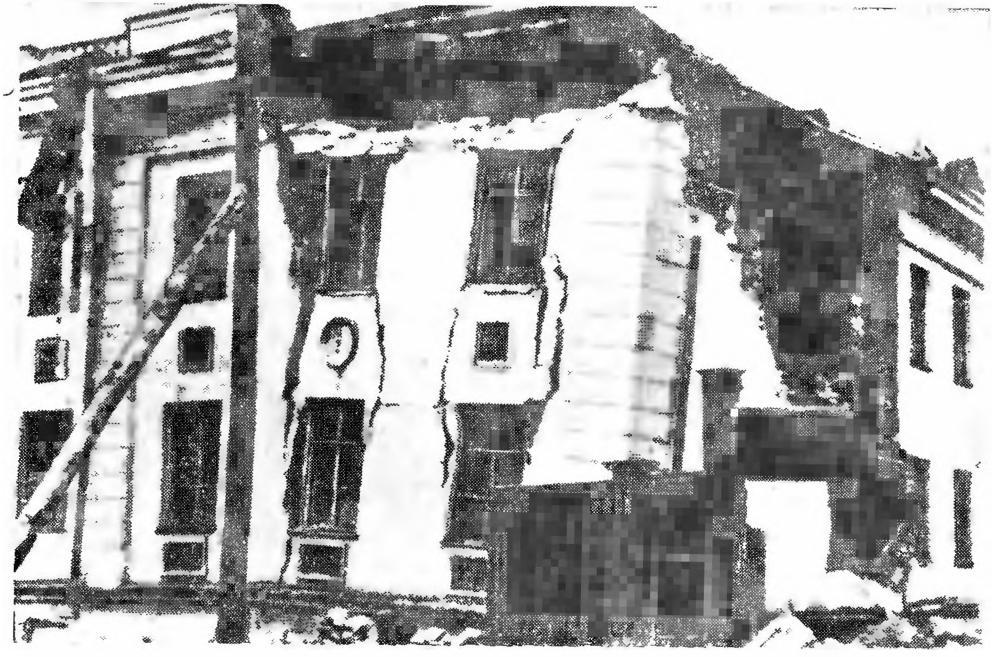


РИС. 37.
Деформация здания, вызванная мерзлотным разрушением железобетонных фундаментных опор

доносных горизонтов в связи с подпором надмерзлотных и межмерзлотных вод, при прорыве вод и т. п.

Наледи образуются в искусственных выемках при выходе на поверхность и замерзании грунтовых вод, а также при сбросе сточных вод.

Наледи антропогенного характера образуются на реках в системе гидроузлов, в нижних бьефах, где уровень реки зарегулирован и понижен и созданы благоприятные условия для полного промерзания сечения реки и последующего образования наледей.

В связи с проникание в штольни и другие подземные выработки зимнего холодного воздуха известны случаи азонального образования многолетнемерзлых грунтов вне геокриозоны в заброшенных шахтах и штольнях (Забайкалье, Урал. Кольский полуостров и др.).

В некоторых районах на отдельных участках наблюдается образование «перелетков» — остаточных слоев сезонномерзлого грунта, сохраняющихся до следующего зимнего сезона (Среднее Приобье, Воркута, Улан-Удэ, Норильск и др.)

Процесс антропогенной аградации многолетней мерзлоты отмечен в Воркуте, Якутске, Игарке, Норильске и др. Этот процесс в зависимости от климатических и региональных условий протекает различно. Существенное значение имеют снегоуборка, повышение альбедо, уничтожение растительности и водоемов. Например, уничтожение снежного покрова может увеличивать глубину сезонного промерзания в 3—5 раз [39], а в Среднем Приобье глубина сезонного промерзания возросла с 2—3 до 5 м. На автодорогах в связи со снегоуборкой температура грунтов понижается

РИС. 38.

Морозное выпучивание столба на 220 см за 38 лет на Сковородинской научно-исследовательской станции ЦНИИСа Минтрансстроя (фото А. И. Дементьева)

в 2—3 раза по сравнению с окружающей местностью. Антропогенная аградация многолетней мерзлоты исчисляется метрами.

Процессы и явления, вызванные протаиванием мерзлых грунтов и вод

В этот класс входят термопросадки, термокарст, солифлюкция, деградация многолетней мерзлоты и другие процессы, связанные с повышением температуры воздуха, грунтов и вод. Длительное протаивание грунтов, превышающее по продолжительности сезонное их промерзание,

вызывает деградацию многолетней мерзлоты, представляющую собой процесс, наиболее характерный для южной геокриозоны. С протаиванием мерзлых грунтов и подземных льдов связаны явления термопросадок, термокарста, солифлюкции, оползней, селей, оврагообразования и др.

Протаивание вызывает резкое снижение прочности грунтов, что приводит к просадке земной поверхности, зданий и сооружений, деформации склонов и откосов, обрушению горных выработок и пр. Вместе с тем, оттаивание многолетнемерзлых грунтов имеет и положительное значение: увеличивается мощность деятельного слоя, что очень важно для озеленения, хозяйственного использования территории, сельского хозяйства, при производстве земляных работ.

Понижение верхней границы многолетнемерзлых грунтов и увеличение мощности деятельного слоя в городах и промышленных районах достигает величины 5—30 м и более. Под искусственными водоемами (водохранилища, каналы, пруды) при небольшой мощности многолетней мерзлоты образуются сквозные талики. Под горящими терриконами в Печорском каменноугольном бассейне, которые разогреваются до температуры в несколько сотен градусов, мерзлые грунты протаивают на десятки метров.

Оттаивание мерзлых грунтов вокруг эксплуатационных нефтяных, газовых, термальных и других скважин, где создается повышенная температура, распространяется на сотни метров и более, что иногда приводит к авариям, провалам и выходу из строя скважины. При искусственном протаивании грунтов, связанном со строительством, создаются очаги талых грунтов на глубину до 10—30 м.

Искусственное протаивание широко используется при проведении земляных, горных и строительных работ. В качестве способов термической мелиорации мерзлых грунтов применяется тепловой обогрев с использованием электричества, газа, горячей воды, пара, каменного угля, дров, торфа, а в последние годы — пленочные покрытия, дождевание и др. Тепловая мелиорация облегчает разрабатываемость грунтов в 10—15 раз.

Термопросадки — наиболее распространенное явление, их величина колеблется от 1 до 110 см и более, достигая максимума в рыхлых высокольдистых грунтах. С увеличением массы зданий и сооружений величина и скорость проседания возрастают; скорость просадки может достигать 4—6 мм/сут.

Просадки приносят наибольший ущерб народному хозяйству. По данным А. И. Дементьева, из числа многочисленных обследованных им деформированных объектов 64% приходится на просадочные деформации и 20% — на пучение. Так, в Воркуте деформированные здания в различных районах города составляют от 40 до 80%. В Чите из 130 обследованных каменных зданий, расположенных на низких террасах, деформировано 96 (73%). Срок службы деформированных зданий сокращается до 10—30 лет. Бо́льшая часть зданий построена по принципу допущения протаивания, без учета возможных геокриогенных процессов.

На рис. 39 показан пример деформации пятиэтажного жилого дома в г. Чите под влиянием протаивания мерзлого грунта. Дом был введен в эксплуатацию в 1966 г., а в 1970 г. был разобран.

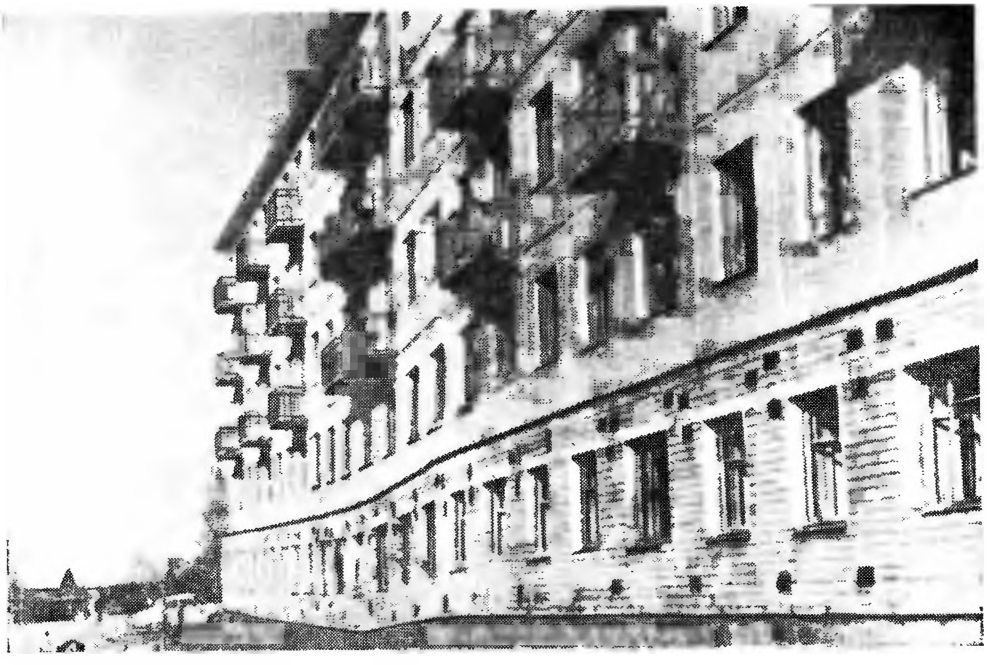


РИС. 39.
Деформация жилого дома, вызванная протаиванием мерзлого грунта (фото А. И. Дементьева)

В геокриозоне развит антропогенный «термокарст», возникающий под влиянием искусственного отепления грунтов, содержащих подземный лед. В связи с протаиванием подземного льда в рельефе поверхности формируются термокарстовые воронки, котловины, лощины, долины и карстовые озера различных размеров. Наибольшее распространение термокарст имеет в южной и центральной зонах многолетней мерзлоты.

Антропогенный термокарст развивается там, где увеличивается теплоприток за счет радиационного теплопритока и поступления в грунт антропогенного тепла от зданий и сооружений, обладающих повышенным коэффициентом тепловыделения. Нередко термокарст развивается на стройплощадках, при строительстве газонефтепроводов, аэродромов, дорог, городов и поселков, когда уничтожается почвенно-растительный покров, производится экскавация грунтов, устраиваются выемки и т. п., что создает благоприятные условия для быстрого вытаивания подземного льда.

Развитие антропогенного термокарста наблюдалось при строительстве и эксплуатации газопроводов Мессояха Норильск, Надым — Пунга, Пунга — Серов и др. На Таз-Енисейском междуречье за три года после начала строительства газопроводов термокарст проявился на 20 участках протяженностью до 150-200 м (протаивание повторно-жильных льдов). В Канаде в связи со строительством взлетно-посадочной

полосы у пос. Сако-Харбор возникли бугры и линейные депрессии, связанные с оседанием грунтов над ледяными жилами. Процесс развития термокарста здесь наблюдался в течение 10 лет.

В связи с оттаиванием и потерей устойчивости грунтов на склонах формируются следующие склоновые мерзлотные геологические процессы и явления: солифлюкция, оползни, сели, обвалы, овраги и пр. (Воркута, Норильск, Чита, Салехард, Игарка и др.). Некоторые склоновые геокриогенные процессы распространены и в зоне сезонной мерзлоты, причем особенно часто в откосах искусственных выемок и насыпей.

Мерзлотные геологические процессы наносят очень большой ущерб народному хозяйству. С ними связаны многочисленные деформации и разрушения зданий и сооружений. Наиболее распространены деформации и повреждения в районах высокотемпературной (от —0,5 до —2° С) и островной многолетней мерзлоты.

В среднем в зоне многолетней мерзлоты подвержено деформациям не менее 50% зданий и сооружений, главным образом из-за некачественных изысканий и проектирования, недостаточно полного учета послепостроечного поведения многолетнемерзлых грунтов и влияния геокриогенных процессов. Не предусмотренные проектами осадки грунтов составляют 75% деформаций [34]. Поэтому при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений необходимо больше уделять внимания термогенной геодинамике и соблюдению проверенных прогрессивных способов строительства и хозяйственного использования территорий.

Процессы и явления, вызванные обогревом, обжигом и плавлением грунтов

В этот класс процессов входят термоусадка глинистых грунтов, «окаменение» грунтов, образование пустот в массиве, сдвижение грунтов, термогенное проседание поверхности земли, зданий и сооружений. Такие явления связаны с влиянием нагретых объектов, термической мелиорацией грунтов, пожарами, подземной газификацией углей (ПГУ), подземным выплавлением полезных ископаемых и т. п.

В зоне влияния нагретых объектов (горячие цеха, печи, котлы, ТЭЦ, теплопроводы и др.) температура грунтов повышается до 30—60° С, а иногда до 80- 100° С. Температура более 100 С наблюдается под доменными и мартеновскими печами. В глинистых грунтах происходит объемная термоусадка. Здания и сооружения испытывают осадку на 0,2—0,3 м и более, известны случаи их повреждения.

В зоне подземной газификации углей при температуре 600—1500° С наблюдаются процессы сгорания углей, плавления, спекания, коренного изменения состава, структуры и свойств окружающих пород. Глинистые породы «каменеют», утрачивают свойства пластичности, набухаемости, увеличиваются их пористость, проницаемость и механическая прочность на сжатие до 12 МПа.

Подземная газификация углей сопровождается развитием трещин, образованием пустот, сдвижением пород кровли и образованием мульд проседания над очагами газификации. Проседание поверхности земли колеблется от 0,3 до 17 м.

РИС. 40.
«Горящие берега» р. Пыж в окрестностях Перми. Горят высачивающиеся нефтепродукты, проникшие в грунтовые воды с территории нефтеперерабатывающего комбината (фото Л. Б. Иванцова)

Сходные изменения пород происходят при подземных пожарах. Горят под землей легко воспламеняющиеся угли, иногда лигниты, торф и другие породы (рис. 40). Подземные пожары представляют собой довольно частое явление, иногда они длятся в течение сотен и тысяч лет, охватывают огромные площади и возникают чаще в связи с деятельностью человека.

Более 2000 лет длится подземный пожар на территории СССР вблизи горняцкого поселка на горе Рават (Гиссарский хребет), где горят пласты высококачественного угля с запасом 1,5 млрд. т. Длина площади пожара 25 км и ширина 1 км. В очагах ПГУ и подземных пожаров образуются новые типы пород: «муллиты», «плавежи», «горелики» и др.

Подземные пожары нагревают поверхность земли, оказывают влияние на ландшафт местности, в зимнее время оживляют растительность.

В строительной практике применяется термическая мелиорация грунтов — прогрев и обжиг для повышения прочностных свойств легко деформируемых глинистых, лёссовых просадочных, иногда песчаных грунтов плывунного типа. Прогрев осуществляется при температуре 400—600° С, в результате чего теряется склонность к пучению и размоканию, повышается механическая прочность глинистых грунтов. Поверхностный и глубинный обжиг при температуре 600—1000° С более существенно изменяет структуру и свойства грунтов, при этом происходит «окаменение» грунтов.

устранение просадочных, плывунных, тиксотропных и других нежелательных свойств.

Как показывают вышеприведенные данные, геотермические процессы и явления антропогенного типа весьма существенно изменяют природную геологическую среду, причем чаще с отрицательными последствиями, которые наносят значительный ущерб народному хозяйству. Для эффективного планирования и проектирования строительства и эксплуатации зданий и сооружений требуется знать и учитывать геокриогенные процессы и явления, их отрицательное влияние на окружающую среду, а также предусматривать соответствующие охранные мероприятия.

Гидролитогенные процессы и явления, вызванные изменением подземной гидросферы

Антропогенные изменения подземной гидросферы освещены в гл. II. Изменение естественного режима подземных вод оказывает влияние на напряженное гидродинамическое и геодинамическое состояние земной коры и свойства грунтов. Термин «гидролитогенные процессы и явления» предложен автором; под ним понимаются процессы, развивающиеся внутри массива грунтов в результате взаимодействия вод и грунтов.

Процессы и явления, вызванные понижением уровня подземных вод и обезвоживанием грунтов

В этот класс входят процессы и явления, приведенные на рис. 36. Почти во всех крупных промышленных центрах, где подземные воды извлекаются из недр в течение длительного периода и в больших объемах, сформировались депрессионные воронки. Характеристика депрессионных воронок дана в гл. II.

Водопонижение и обезвоживание грунтов вызывает изменение состояния и многих их физико-механических свойств. Осушение сопровождается уменьшением влажности, утонением гидратных оболочек вокруг минеральных частиц, увеличением молекулярного сцепления между ними и повышением плотности, прочностных свойств грунтов.

Широко распространенное явление оседания поверхности земли, зданий и сооружений в связи с водопонижением обусловлено изменением напряженного состояния массива грунтов и процессами их сжатия и уплотнения.

При водопонижении снимается взвешивающее влияние воды, происходит как бы увеличение сил тяжести, появляется дополнительная (эффективная) нагрузка, под влиянием которой наблюдается медленное уплотнение сжимаемых грунтов водоносного горизонта.

В напорных водоносных горизонтах снижение пьезометрического уровня на каждые 10 м вызывает увеличение давления вышележащих грунтов на водоносные толщи на величину 0,1 МПа. При возникновении градиентов напора в системе водоносных горизонтов, вызванных искусственным понижением уровня, возможен отток воды из водоупоров в направлении от бо́льших давлений к меньшим, что обусловливает процесс сжатия и уплотнения глинистых водоупорных грунтов.

В результате процесса сжатия грунтов происходит опускание земной поверхности. Величина осадки грун-

тов зависит не только от величины сил, их вызывающих, но и от степени сжимаемости пород. Величина опускания поверхности земли колеблется от нескольких сантиметров до 9 м (г. Мехико). В связи с неоднородным литологическим строением мульд оседания и сменой пород по простиранию и глубине осадки носят неравномерный характер как во времени, так и в пространстве.

Над депрессионными воронками подземных вод почти всюду сформировались пологие мульды оседания связанные с процессами сжатия, деструкции пород и снижением внутрипластовых напоров. Площадь мульд оседания в городах изменяется от долей квадратных километров до 3500 км² и более. В Токио она составляет 309 км², в Осаке — 90 км², в Большом Лондоне — 1800 км², в районе Сан-Хоакин (США) — 3500 км². По новейшим данным, оседание поверхности земли в долине Сан-Хоакин охватило площадь около 134 680 км², в 1972 г. опускание достигло 8,84 м [184]. Максимальная величина оседания в отдельных очагах достигает: в Москве — 0,35 м, Лондоне — 0,3 м, Техасе — 1,2 м, Хьюстоне—0,8 м Делано — 3 м, Кеттлемане — 3 м, Гуроне — 2 м, Осаке — 2,2 м, Амагасаки — 3,1 м, Токио — 7,0 м, Лонг-Бич — 7,6 м, Мехико — 9 м.

На уникальном рис. 41 показана обсадная труба скважины для откачки грунтовых вод; верх трубы ранее находился на уровне земной поверхности. В этом месте осадка поверхности составила 6 м [88].

Интересно отметить, что в Токио и Осаке во время второй мировой войны в связи с резким сокращением откачек оседание поверхности земли временно приостановилось, что подтверждает генезис оседания. За

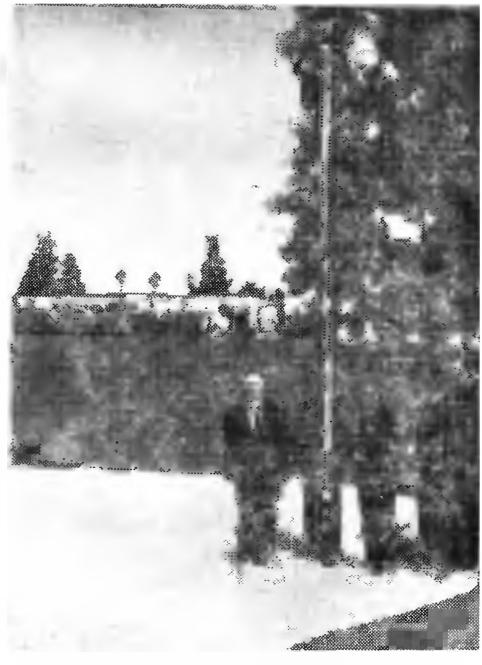


РИС. 41.
Мехико, Мексика. Обсадная труба скважины для откачки грунтовых вод. Верх трубы находился на уровне земной поверхности, осадка поверхности составила 6 м [88]

последние 10 лет ежегодные максимальные оседания составляют: в Мехико — 30 см, Токио — 19 см, Осаке — 20 см, Нагойе — 6 см, Ниигате — 50 см (в Ниигате оседание связано, кроме того, с добычей нефти и газа). В Токио на площади 30 км² территория опустилась ниже уровня моря, что вызвало необходимость принятия мер инженерной защиты.

На величину оседания поверхности земли оказывают влияние местные геологические и гидрогеологические условия, в частности, степень литификации грунтов, их гидрофильность, а также продолжительность и объем откачек и др.

Приведенные цифры свидетельствуют о том, что антропогенные

опускания земной поверхности сопоставимы с естественными колебательными движениями земной коры и даже превосходят их в ряде случаев по величине. Как известно, современные тектонические опускания в отдельных районах страны в среднем измеряются цифрами порядка 2—12 мм/год. Например, в Москве ежегодное оседание поверхности земли составляет в среднем 0,2—1,3 мм, в Ленинграде — 1,4 мм, западной части Апшеронского полуострова — 4—7 мм, Одессе — 4—6 мм, Крыму — 0,3—1,4 мм, на Черноморском побережье Кавказа — 0,5—6,5 мм.

Явление оседания вызывает другие нежелательные сопутствующие процессы и явления, причиняющие экономический ущерб. Так, в результате опускания местности повышается уровень грунтовых вод, с чем связано подтопление, заболачивание, обводнение подвалов зданий и др. В прибрежных районах затапливаются низкие побережья океанов, морей, рек, озер и водохранилищ, в связи с чем выбывают из строя здания, сооружения, дефицитные земли городов и промышленных центров.

Неравномерные осадки выводят из строя железные, автомобильные дороги, каналы, нефте-, тепло- и газопроводы и другие подземные коммуникации, вызывают деформации зданий, портов, мостов, стенок набережных и других сооружений.

Для борьбы с опусканием земной поверхности применяется ограничение или прекращение водоотбора, закачка в недра речных и морских вод для создания противодавления, повышение отметок территории с помощью намыва и подсыпки грунта, устройство оградительных дамб и пр. Например, в Осаке вдоль берегов моря, рек и каналов к 1958 г. было построено 124 пог. км защитных дамб, для повышения отметок поверхности уложено 26,6 млн. м³ грунта. В настоящее время в Японии, США и других странах в связи с проблемой утилизации твердых производственных и бытовых отходов последние стали использоваться (при условии если отходы отвечают санитарным требованиям) для повышения отметок поверхности земли.

С водопонижением связано увеличение зоны аэрации, выветривания и глубины промерзания грунтов. С процессами деструкции (разложения) органического вещества, содержащегося в торфах, илах, сапропелях, погребенных почвах, культурных слоях, связаны деструкционные просадки земной поверхности.

При длительном понижении и колебаниях уровня грунтовых вод происходит гниение деревянных свай, что приводит к деформации зданий и сооружений. В СССР насчитывается огромное число зданий и сооружений, построенных на деревянных сваях, и проблема сохранения их приобретает большое экономическое значение. Например, в Москве в связи с деструкцией грунтов и гниением деревянных свай деформируются многие здания и сооружения, построенные еще до 1917 г. в долинах рек, ручьев, на болотах, заболоченных землях и слабых грунтах. К ним относятся такие уникальные здания и сооружения, как часть Кремлевской стены, Малый театр, Большой театр, гостиница Метрополь, Госцирк (старое здание) и др. С гниением свай связаны деформации многих сооружений исторического значения за рубежом (Уинчестерский кафедральный собор, Страсбургский большой собор, Бостон-

ская публичная библиотека и многие другие).

От понижения уровня грунтовых вод могут гибнуть сельскохозяйственные растения, леса, сады, плантации, парки, скверы. Известно, что сельскохозяйственные растения с помощью корневой системы извлекают грунтовые воды с глубины 2—5 м, тогда как древесная и кустарниковая растительность — с глубины до 10—30 м. Например, корни тамариска достигают глубины 30 м, корни верблюжьей колючки — 20 м, древесные породы — до 10—12 м. При значительном водопонижении и отсутствии искусственного полива флора может вырождаться, при подтоплении и избыточном увлажнении она также погибает. Это необходимо учитывать в практике сельского, лесного и коммунального хозяйства. Иногда благодаря большой транспирационной способности деревья выполняют дренажные функции, т. е. извлекая воду из грунта, осушают его. Многие растения имеют весьма разветвленную корневую систему. Например, суммарная протяженность корней (включая тонкие) дуба достигает сотен километров, ржи — 80 км. Диаметр корневой системы древесных растений обычно в несколько раз превышает диаметр кроны, достигая 10—18 м. Осушение связных грунтов растительностью вызывает оседание поверхности земли. Этот вид осадок автором назван дегидратационно-транспирационным оседанием [63].

Во многих городах мира, в том числе и в СССР, наблюдаются осадки зданий и сооружений при близком к ним произрастании деревьев. Осадки измеряются величиной от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров и иногда вызывают деформации в виде трещин и расколов. Наибольшей транспирационной способностью обладают широколиственные деревья. Широко известна активно дренирующая способность эвкалиптов, насаждаемых для осушения болот и заболоченных земель в южных районах (Кавказ, о. Пинос вблизи о. Куба и др.).

Большие по масштабу водопонижения приводят к исчезновению рек, ручьев, озер и прудов. Эти явления наблюдаются в районах подземной добычи полезных ископаемых, где горные работы ведутся при дренировании подземных вод (Донбасс, Кузбасс и др.).

На территориях, прилегающих к морям и океанам, в связи со снижением уровней подземных вод наблюдается вторжение соленых вод, что выводит из строя действующие водозаборы (Япония, Канада, США, Голландия, Англия, Франция, СССР и др.). Для борьбы с этим явлением применяются регулирование водоотбора, устройство барьеров из глинистого раствора, поглощающие скважины.

Процессы и явления, вызванные повышением уровня подземных вод, обводнением и увлажнением грунтов

Повышение уровня грунтовых вод является типичным антропогенным явлением, так как связано с увеличением приходных составляющих в общем балансе грунтовых вод главным образом за счет дополнительного питания водоносных горизонтов в результате деятельности человека. Подробно вопросы повышения уровня рассмотрены в гл. II.

Повышение уровня обусловлено дополнительным переходом части поверхностного стока в подземный;

инфильтрацией воды из густой сети водохранилищ, каналов и оросительных систем; ростом индустриализации и урбанизации. Повышение уровня изменяется от 0,5 до 100 м и более, а в площадном отношении стало с каждым годом все более расширяться и принимать крупноплощадной и региональный характер, нанося значительный ущерб народному хозяйству.

Повышение уровня и обводнение грунтов сопровождается существенным изменением их свойств и развитием ряда антропогенных геологических процессов и явлений, чаще нежелательных по своим последствиям.

Изменение состояния и свойств грунтов выражается преимущественно в повышении деформируемости и понижении их прочности. При обводнении грунтов наблюдается увеличение влажности, пористости, степени заполнения пор водой, растворение солей, ослабление коллоидных и кристаллизационных связей, распад структуры (глинистые грунты), размягчение (сцементированные скальные, полускальные осадочные и твердые глинистые грунты), разуплотнение (песчано-глинистые грунты), вызванное гидростатическим взвешиванием и фильтрационным разрыхлением.

Показатели прочностных свойств (E, C, φ) некоторых типов грунтов при обводнении могут снижаться в 1,5—3 раза и более, особенно связных и просадочных грунтов.

Антропогенные процессы и явления, вызванные повышением уровня подземных вод, приведены на рис. 36.

К наиболее распространенным антропогенным геологическим процессам, вызванным повышением уровня грунтовых вод и обводнением грунтов, относятся просадки, набухание, снижение несущей способности грунтов. С ними связаны явления оседания и поднятия поверхности земли и массовые деформации зданий и сооружений, наносящие колоссальный экономический ущерб. Просадки лёссовых грунтов по степени развития и своим последствиям наиболее опасны. Площадь лёссовых грунтов в СССР достигает 3.3 млн. км², что составляет около 14%. Они зональны, имеют сплошное и островное распространение, развиты на низменных равнинах, в предгорьях и горах преимущественно южнее 62° с. ш., чаще в засушливых условиях. Схематическая карта распространения просадочных (лёссовых) грунтов на территории СССР приведена на рис. 42 (по В. С. Быковой).

Просадочные явления широко развиты в районах сплошного распространения лёссовых грунтов (Украина, южная и центральная части европейской территории РСФСР. Западно-Сибирская низменность. Средняя Азия. Южный Казахстан и др.). В УССР лёссовые грунты занимают площадь, равную 380 тыс. км² (63%), в Средней Азии и Южном Казахстане — 25% площади. Менее развиты просадки в районах островного распространения лёссовых грунтов (Белоруссия, северная часть УССР, Смоленская, Московская и др.). Просадочные грунты занимают 15% территории СССР.

Антропогенные просадки широко распространены в городах, поселках, промышленных центрах и в районах ирригации, поскольку просадочные лёссовые грунты здесь в наибольшей степени подвержены замачиванию и дополнительной статической нагрузке.

Просадки наносят колоссальный ущерб народному хозяйству. Мас-

совые повреждения зданий и сооружений наблюдаются во многих городах СССР. В одном только г. Запорожье от просадок деформировано большое число зданий. В связи с просадками лёссовых грунтов проседание поверхности земли, зданий и сооружений изменяется в широких пределах — от 0,1 до 3 м. В районе Самарканда проседание достигает 2 м, в Голодной степи — 0,6 м, Ташкентской агломерации — 2,5—3 м, Терско-Кумском районе — 2,5 м, в бассейне Среднего Днепра — 1,5—2 м, Северского Донца — 1,5 м и т. д. Большие просадки (до 1,5—2 м) наблюдаются вдоль оросительных каналов на расстоянии до 40—60 м по обе стороны от бровки, на берегах водохранилищ — до 120 м. В некоторых городах от просадок деформируются уникальные здания и сооружения, как, например, здание знаменитого оперного театра в Одессе, здания Киево-Печерской лавры в Киеве и многие другие.

С просадками лёссовых грунтов связано развитие таких нежелательных геологических процессов, как оползни, оплывины, плывуны, лёссовый псевдокарст, эрозия и др. В борьбе с просадками применяются: а) мероприятия по предохранению просадочных грунтов от увлажнения; б) мероприятия по устранению просадочных свойств грунтов; в) адаптация (приспособление) сооружений к деформациям грунтов; г) удаление и прорезание сваями просадочных грунтов.

Массовые деформации зданий и сооружений от просадок лёссовых грунтов свидетельствуют, очевидно, о недостаточно разработанной теории, методики исследований и изысканий, но главным образом об ошибках в практике проектирования, строительства и особенно эксплуатации.

С обводнением связан процесс набухания грунтов и явление вспора (влажностного выпучивания) поверхности земли, поднятия легких зданий и сооружений. Набухание и усадка представляют собой взаимосвязанные объемные деформации связных грунтов. Способностью к набуханию обладают только некоторые разности глинистых грунтов, которые характеризуются высокой дисперсностью, содержанием монтмориллонитовых и бейделлитовых минералов (имеют подвижную кристаллическую решетку), органических и других соединений, обладающих высокой гидрофильностью, пластичностью, емкостью ионного обмена, незначительной уплотненностью, прочностью структурных связей, пониженной влажностью — меньше нижнего предела пластичности. Набухание имеет осмотический характер.

В СССР свойствами набухания обладают некоторые типы юрских, хвалынских, майкопских, сарматских, аральских, киевских и иного возраста глин. Набухающие грунты чаще распространены в южных районах страны, климатических зонах сухих степей и полупустынь (Закавказье, Предкавказье, Крым, Молдавия, южная часть УССР, Апшеронский полуостров, Дагестан, Нижнее и Среднее Поволжье, Центральный Казахстан и др.).

За рубежом явление набухания наблюдается в Африке, Австралии, Индии, южных районах США, Канады, Англии, в Бирме, на Кубе и в других странах. Оно наносит значительный экономический ущерб. В США стоимость повреждений фундаментов, зданий, дорог и прочих сооружений на набухающих грунтах составляет ежегодно 2,3 млрд. долларов.

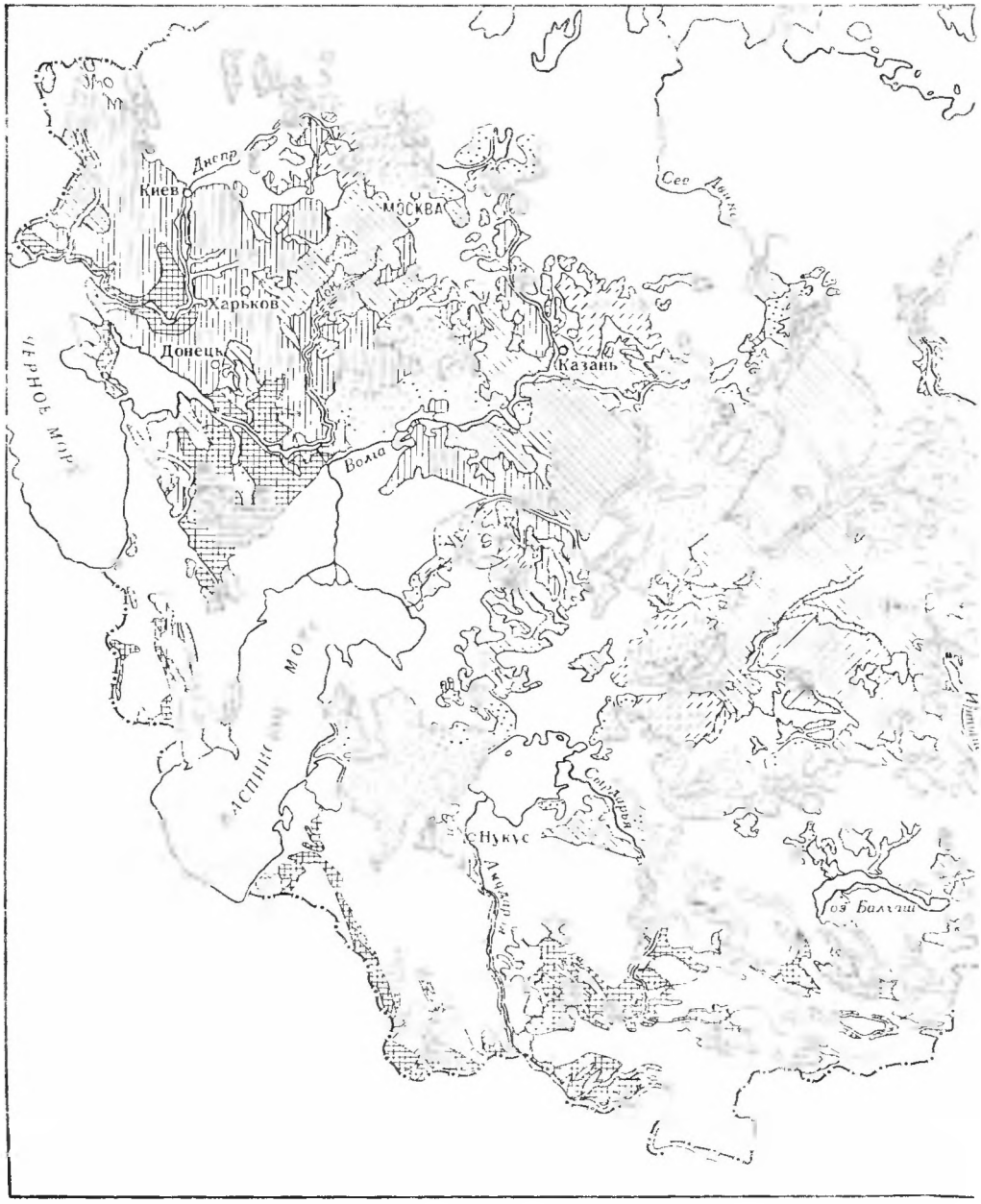
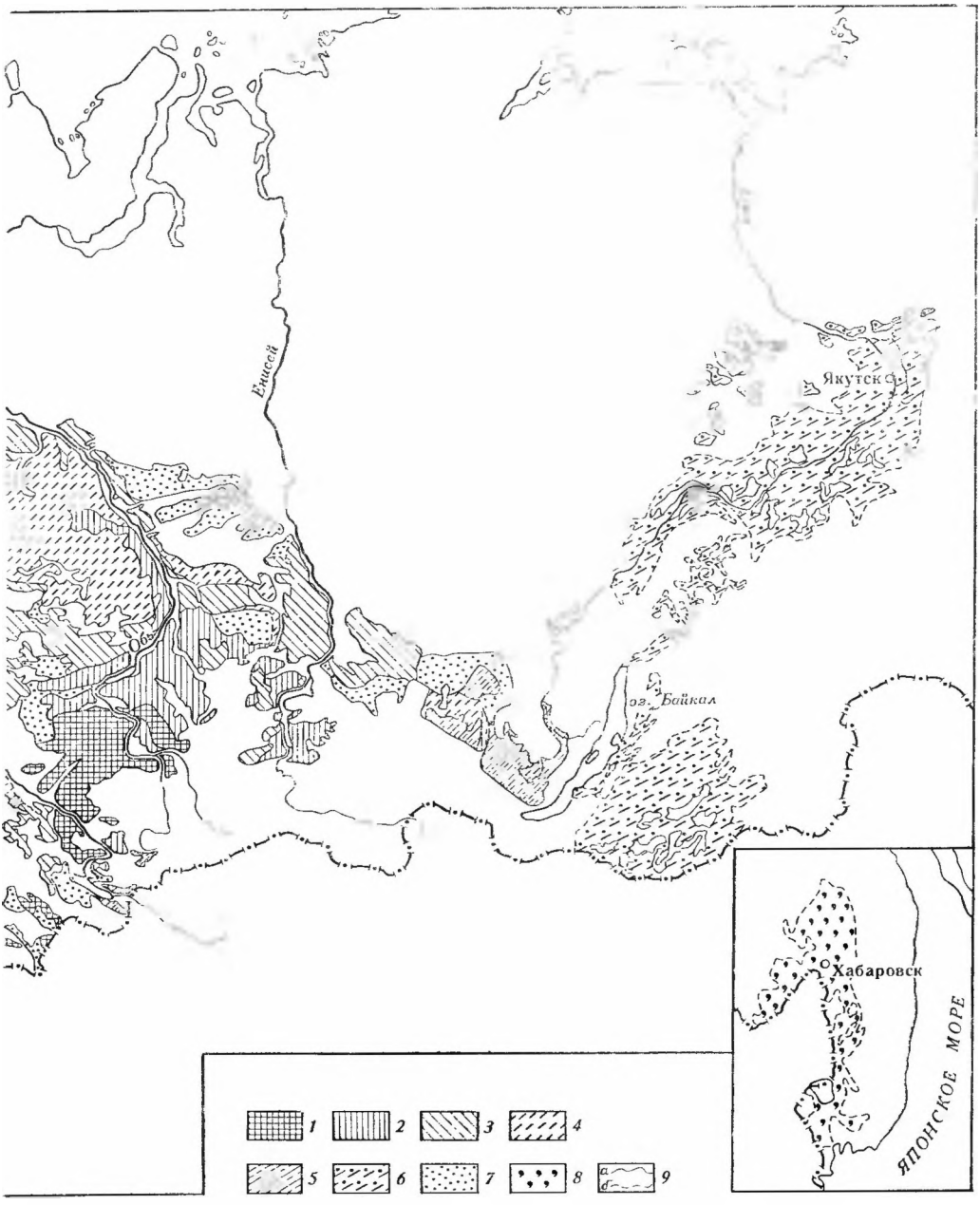


РИС. 42.

Схематическая карта распространения просадочных (лёссовых) грунтов на территории СССР.

1 — лессовые породы большой мощности, обладающие просадкой под собственным весом (II тип); *2* — лессовые породы мощностью, преимущественно просадочные при дополнительных нагрузках (I тип, иногда II тип); *3* — лёссовые (чаще лёссовидные) породы средней мощности, обладающие незначительными просадочными деформациями при дополнительных нагрузках (I тип); *4* — лёссовые породы и породы со слабо выраженными [illegible] обычно, малой [illegible], непросадоч



ные; *5* — лессовидные породы изменчивой мощности, неоднородные по просадочности (I тип и непросадочные); *6* — лёссовые породы, выделенные по предположению, просадочные свойства не определены; *7* — лёссовидные породы, развитые лишь на отдельных участках, маломощные и изменчивой мощности, непросадочные либо обладающие просадочными деформациями при дополнительных нагрузках (I тип и непросадочные); *8* — четвертичные отложения с возможным развитием на отдельных участках маломощных лёссовидных пород; *9* — границы распространения лёссовых пород: *а* — установленные, *б* — предполагаемые

РИС. 43.
Деформация одноэтажного здания, вызванная набуханием — усадкой (фото Е. П. Рословой)

Объемное набухание изменяется от 1 до 45%, чаще от 5 до 20%. Влажность набухания составляет 32—60%, что превышает первоначальную в 2—5 раз. Набухание грунтов с нарушенной структурой (антропогенные глинистые грунты) может увеличиваться в 2—3 раза и более. При высыхании грунты дают усадку; величина объемной усадки колеблется в пределах 5—35% [112]. Такие показатели прочностных свойств, как E, C, φ, в связи с набуханием уменьшаются в 2—5 раз. Давление набухания может развиваться в пределах 0.01—1,2 МПа и более, чаще составляет 0.1—0.4 МПа. При значительном давлении набухания происходит поднятие поверхности земли, легких одно- и двухэтажных зданий, насыпей, мостов, аэродромов, уличных проездов, железных и автомобильных дорог и пр. Поднятие может достигать 50 см и более.

Р. Леггет описывает случай выпора грунтов на 3 м в г. Пейнт-Рок (Техас), вызванного гидратацией ангидрита, входящего в состав глинистых сланцев, и увеличением его объема при переходе в гипс [88]. Некоторые исследователи называют такое набухание химическим.

Существует цикличность поднятий и опусканий (усадка), связанная с колебаниями уровня грунтовых вод и циклами атмосферных осадков.

В связи с различными видами искусственного увлажнения набухающих грунтов в ряде районов СССР наблюдаются многочисленные деформации зданий и сооружений (Керчь, Краснодар, Ростов-на-Дону, Таганрог; Волгоград, Элиста, Новочеркасск, Баку, Стерлитамак, Днепропетровск, Сочи, Киев и др.). Многочисленные примеры антропогенного набухания — усадки — приведены в материалах Второго всесоюзного совещания «Строительство на набухающих грунтах» [153].

По данным Б. А. Калашникова, М. И. Черкасова и Е. П. Рословой [51], в пос. Черноморском Краснодарского края из 550 обследованных одно- и двухэтажных зданий, расположенных на набухающих глинистых грунтах второй и третьей надпойменных террас р. Кубани, 210 имели деформации в виде сквозных трещин размером до нескольких сантиметров (рис. 43).

Явления усадки нередко связаны с искусственным подсушиванием грунтов под влиянием нагретых объ-

ектов, ПГУ, пожаров, термической мелиорации и др. Процессы набухания — усадки вызывают развитие ряда других геологических процессов (выветривания, оползней, выпора бортов и дна карьеров, горного пучения в подземных выработках и др.). Так, в Волгограде в связи с набуханием хвалынских глин на склонах образуются оползни.

Для предупреждения и борьбы с деформациями, вызванными набуханием, применяются увеличение нагрузки на грунты основания, уплотнение грунта, устройство широких отмосток, поддержание повышенной влажности, предварительное замачивание грунта, строительство на ячеистых фундаментах (Центральный Техас), использование компенсирующих подушек, удаление набухающих грунтов в котлованах, заглубление фундамента ниже подошвы набухающих грунтов, устройство специальных свай, железобетонных поясов, электрохимическое закрепление и др. Проектирование и строительство на просадочных и набухающих грунтах нормируется в СССР СНиП II—15 74 [150].

Процессы и явления, вызванные изменением фильтрационно-гидродинамического режима

Естественный гидродинамический режим подземных вод изменяется, с одной стороны, под влиянием длительных откачек подземных вод из скважин и иглофильтров, водоотлива из штолен, шахт, тоннелей, котлованов, траншей, дренажных систем и т. п., с другой — в результате инфильтрации вод из водохранилищ, каналов, прудов, оросительных систем и пр.

В связи с этим изменяется естественное гидродинамическое поле, возникают разности гидравлических потенциалов и напорные градиенты; изменяются пути и скорости движения подземных вод. Формируется комплекс антропогенных фильтрационно-гидродинамических процессов и явлений (см. рис. 36).

К антропогенным гидродинамическим факторам относятся гидростатические напоры, гидравлические уклоны, гидродинамическое давление и напорная фильтрация.

Процесс антропогенной суффозии имеет место при вскрытии водоносных горизонтов искусственными выемками, водоотливе из шахт, котлованов, карьеров, траншей, откачках подземных вод из скважин и иглофильтров, дренировании вод стационарными дренажами и глубокими депрессионными воронками.

Автор провел экспериментальные исследования процесса механической суффозии при откачках подземных вод в различных условиях: из системы замоскворецкого дренажа и системы иглофильтровых установок в разных районах Москвы. Подробно результаты опытов освещены в книге автора [62].

Замоскворецкий дренаж в Москве был построен в связи с повышением уровня р. Москвы и для защиты территории от подтопления. За 23 года работы замоскворецкого дренажа (с 1937 по 1960 г.) средний вынос частиц при откачках составил, по ориентировочным подсчетам автора, 20 366 т, или 10 710 м³ минерального вещества, что эквивалентно слою мощностью 2,1 мм. Исследования суффозии при откачках из иглофильтров подтвердили наличие выноса минеральных частиц в количествах

от 1,5 до 8000 мг/га (в зависимости от литологического строения, фильтрационных свойств водовмещающих толщ и режима откачек). Следовательно, мнение о том, что механическая суффозия не происходит при откачках подземных вод из скважин, оборудованных фильтрами, не соответствует действительности.

Вызванная откачками подземных вод суффозия явилась причиной деформации некоторых зданий в районе Баку (пос. Воровского) (по данным Р. А. Гаджиева). Вынос мелкодисперсных частиц более интенсивно происходит при водоотливе из открытых и подземных выработок. Размыв и вынос заполнителей трещиноватых пород, процессы карстово-суффозионного оседания и провалов наблюдаются при больших водоотборах, образовании глубоких и крутых депрессий, при наличии значительных градиентов напора, увеличении скорости фильтрации, вертикальных перетоках вод (Урал, Донбасс, Казань, Дзержинск, Москва и др.). Прорывы вод и плывунов обычно приурочены к различным видам подземного строительства; подробнее они рассмотрены ниже.

Процессы и явления, вызванные изменением химического режима подземных вод

Изменения химического состава подземных вод описаны в гл. II. Процесс засоления грунтов очень широко распространен на земле, в том числе и в СССР. Вторичное засоление грунтов развито главным образом на орошаемых землях. Площадь орошаемых земель за последние 200 лет возросла в мире в 25 раз, превысив 235 млн. га, что составляет 16% от обрабатываемых земель. В СССР площадь орошаемого земледелия составляет 15 млн. га (1975 г.). Засолению подвержено в мире 40% орошаемых земель, этот процесс типичен для районов засушливого климата с интенсивным испарением.

Механизм засоления представляется так: грунтовые воды в процессе движения вымывают из грунтов соли; при повышении уровня вод (что характерно при избыточных поливах) усиливается испарение влаги, повышается минерализация вод и в капиллярах грунтов и почв кристаллизуются соли. Этот процесс усиливается в равнинной местности при застойном режиме грунтовых вод и отсутствии дренажа.

Засоление почв снижает урожайность культур на 30—60%. При интенсивном засолении образуются солончаки, земли становятся бесплодными и выбывают из сельскохозяйственного оборота. В СССР составлена карта типов засоления почв в масштабе 1 : 2 500 000, в союзных республиках подобные карты составлены в более крупном масштабе.

Засоление почв и грунтов приносит большой вред сельскому хозяйству. В нашей стране выполняются значительные мелиоративные работы по предупреждению засоления и удалению солей из земли. Они включают рациональную планировку полей, улучшение агротехники и технологии полива, промывку земель, закрытый дренаж. Борьба с засолением почв и грунтов имеет важнейшее значение в охране и улучшении природной среды.

Гравитационные процессы и явления, вызванные статическими нагрузками

Инженерно-хозяйственная деятельность человека изменяет естественное гравитационное поле Земли. Эти изменения обусловлены перераспределением сил тяжести и проявляются в увеличении и уменьшении геостатических нагрузок.

Естественное гравитационное поле трансформируется в местах поселения и трудовой деятельности человека, достигая максимума в урбанизированных центрах и градопромышленных агломерациях. С изменением гравитационного поля связаны геологические процессы уплотнения и разуплотнения пород; антропогенные геологические явления гравитационного оседания и поднятия земной поверхности и, наконец, гравитационные смещения земляных масс на склонах и откосах.

Такова общая картина изменений гравитационного поля. Рассмотрим подробнее отдельные аспекты гравитационных процессов и явлений.

Увеличение статических нагрузок вызывается массой зданий, сооружений, промышленной, сельскохозяйственной и другой продукцией, накоплением горных отвалов, твердых отходов производства и быта, влиянием водохранилищ (масса воды) и т. п.

В городах и горнопромышленных центрах сосредоточены максимальные статические нагрузки на земную кору. В городах статические нагрузки на породы оснований от зданий и сооружений изменяются от 0,01 до 2 МПа, чаще составляют 0,15—0,4 МПа. Максимальные нагрузки (1—2 МПа) относятся к тяжелым мостам, небоскребам, башням, элеваторам и другим сооружениям.

В районах горнодобывающих предприятий статические нагрузки от складируемых отвалов вскрышных пород мощностью 20—150 м колеблются от 0,4 до 3 МПа; от терриконов высотой 40—300 м — 0,8—6,0 МПа. Нагрузку увеличивают водохранилища. Максимальная глубина горных водохранилищ составляет 60—300 м, столб воды вблизи высоконапорных плотин достигает 200—300 м. Следовательно, появляется дополнительное гидростатическое давление в 0,6—3 МПа. Нагрузки от высоких бетонных плотин составляют 2—6 МПа, от хранилищ тяжелой продукции (металлические, каменные, железобетонные изделия и пр.) — 0,2—1 МПа. Нагрузки возрастают от накоплений культурного слоя, возведения различных насыпей, в связи с ростом каменного многоэтажного строительства, развитием горнодобывающей и перерабатывающей промышленности и т. п.

В ряде стран, где преобладает деревянная и одноэтажная застройка (Африка, Азия), статические нагрузки невелики и находятся в пределах 0,01—0,1 МПа.

В дореволюционной России застройка была преимущественно деревянной и малоэтажной, даже в городах она составляла более 80%. Преобладали удельные нагрузки, равные 0,05—0,15 МПа. До изобретения лифта здания не превышали пяти этажей.

В античную эпоху в древней Греции и в Римской империи строились отдельные четырех- и пятиэтажные здания, монументальные храмы, дворцы, крепости, театры, цирки, стадионы, коммунальные сооружения. В XIX и XX вв. в связи с индустриализацией, ростом градо-

строительства и изобретением лифта стало быстро развиваться каменное и многоэтажное строительство, возросло применение тяжелых конструкций, что вызвало увеличение статических нагрузок на грунты оснований зданий и сооружений.

В 1885 г. в США появились первые высотные дома в 10- 12 этажей (Чикаго), в 1900 г. — 20-этажные дома (Нью-Йорк). Позднее в США стали возводиться небоскребы. (По международной классификации к высотным домам относятся здания до 40 этажей, к небоскребам — более 40 этажей). В настоящее время небоскребы построены во многих городах мира. В СССР они не строятся по многим причинам (нежелательные последствия, дискомфортные условия и пр.).

Однако в связи с нарастающим дефицитом свободных земель и усложнением инженерного оборудования в городах, где освоение новых территорий требует значительных затрат на благоустройство и транспорт, стал увеличиваться объем многоэтажного строительства (9, 12, 16 этажей и более), которое экономически оказалось более эффективным. В ряде городов СССР строятся высотные здания от 20 до 40 этажей, что сопровождается увеличением статических нагрузок.

В Москве в 1947—1952 гг. было построено семь высотных зданий от 16 до 32 этажей; среди них самым большим и высоким является здание Московского университета на Ленинских горах общим объемом 2 млн. м^3 и высотой (без эмблемы) 180 м. Позднее воздвигнуты 27-этажные здания «Гидропроекта» на развилке Ленинградского и Волоколамского шоссе, 30-этажные здания СЭВ на Калининском проспекте, 23-этажное здание гостиницы «Националь» на ул. Горького и др. Самое высокое сооружение в Москве — Останкинская телевизионная башня высотой 533.3 м.

Рост этажности зданий и применение более тяжелых конструкций при строительстве фабрик, заводов, п. отин, ГЭС, мостов, портов и других сооружений, вытеснение дерева как строительного материала и замена его камнем, железобетоном и металлом вызвали увеличение массы зданий и сооружений и нарастание нагрузок на грунты.

Нарастание нагрузок ширится в региональном плане. Это подтверждается разрастанием градопромышленных агломераций, которых в СССР насчитывается уже около 70. Число городов, где сосредоточены наибольшие нагрузки, увеличилось за годы Советской власти более чем на 1000. Только в Москве ежегодно строится 600 жилых зданий. В СССР построено более 50 тыс. новых промышленных предприятий, 1000 плотин и водохранилищ объемом более 1 млн. м^3, площадью 120 тыс. км^2, в угольных бассейнах возникло несколько тысяч терриконов высотой от 40 до 100 м и т. д. По данным М. Н. Хазанова, масса городов мира в 1964 г. составляла 22 350 млн. т [157].

Под влиянием статических нагрузок изменяется напряженное состояние земной коры. Под длительным действием статических нагрузок изменяются структура и некоторые физико-механические свойства пород естественных оснований, чаще в следующих направлениях: у в е л и ч и в а ю т с я плотность Δ, степень плотности D, показатель уплотненности K_d, коэффициент дегидратированности K_{dh}, модуль деформации E, степень сжатия K_c, угол трения φ, сцепление C, у м е н ь ш а ю т с я — влажность

W, пористость n, коэффициент пористости e, модуль осадки l, показатель консистенции I_L, коэффициент уплотнения a и др. В зависимости от местных инженерно-геологических условий и воздействий не исключены другие вариации, в частности, увеличение влажности мелкодисперсных грунтов под зданиями в связи с конденсацией.

Изменения свойств пород, вызванные статическими нагрузками, представляют собой антропогенную фазу метагенеза (эпигенеза) осадочных пород.

Изучение монолитов, отобранных под фундаментами и вне зоны влияния здания или сооружения, позволили получить количественную характеристику антропогенных метагенетических изменений свойств пород. Эти изменения описаны в ряде работ автора на примере Москвы и Киева [62, 78].

По данным К. А. Меркуловой, в Ростове-на-Дону по 15 объектам, в основании которых залегают лёссовидные суглинки, пористость пород, обжатых застройкой, уменьшилась на 2—4%, угол трения увеличился на 1—3°, сцепление возросло на 0,01—0,02 МПа.

Уплотнение грунтов городской застройки позволяет повышать этажность зданий и производить надстройку дополнительных этажей без искусственного усиления оснований и фундаментов, увеличивая нагрузку на грунты в пределах до 20—30%. В результате уплотнения пород вокруг каждого здания и сооружения формируется осадочная воронка, глубина которой в зависимости от величины давления и сопротивляемости пород нагрузке колеблется в пределах от 1 до 600 см и более, чаще составляет 10—20 см. Радиус воронки обычно выходит за пределы наружного периметра здания и зависит от характера эпюры напряжений в сжимаемой толще пород.

В Москве осадка семи высотных зданий от 16 до 32 этажей при расчетных нагрузках от 0,35 до 0,5 МПа и глубине заложения фундаментов в виде коробчатой железобетонной плиты от 5 до 14 м (МГУ) максимально составляла от 5,5 до 18 см, в среднем от 4,5 см (центральная часть МГУ) до 13,4 см (здание у Красных ворот). Подробный анализ развития осадок дан автором в работе, посвященной Москве [62].

Заслуживает внимания опыт строительства в Москве уникального сооружения — Останкинской телевизионной башни высотой 533,3 м. Фундамент башни в виде десятиугольной кольцевой плиты средним диаметром 61 м, толщиной 3—4,5 м был установлен на глубине 4,6 м на суглинках днепровской морены, ниже которых залегают флювиогляциальные пески и юрские песчано-глинистые отложения. Действительные модули деформации, как показали наблюдения и расчеты, оказались равными 87,0—124,0 МПа, в 3—5 раз выше нормативных по СНиПу и в 1,5—2 раза выше экспериментальных штамповых значений. Благодаря прогрессивным конструктивным решениям удалось достигнуть небольшой (до 4 см) и равномерной осадки [103].

Мощность сжимаемой зоны зависит от состава, состояния и свойств пород, величины нагрузок, площади, формы и глубины заложения фундаментов и обычно достигает 30—80 м, однако чаще составляет 10—15 м. В основании высотных зданий в Москве эта мощность колеблется в пределах от 15 до 30 м. В Москве вокруг выстроенных в 1949—1952 гг. высотных зданий формируются осадочные воронки в песчаных и глини-

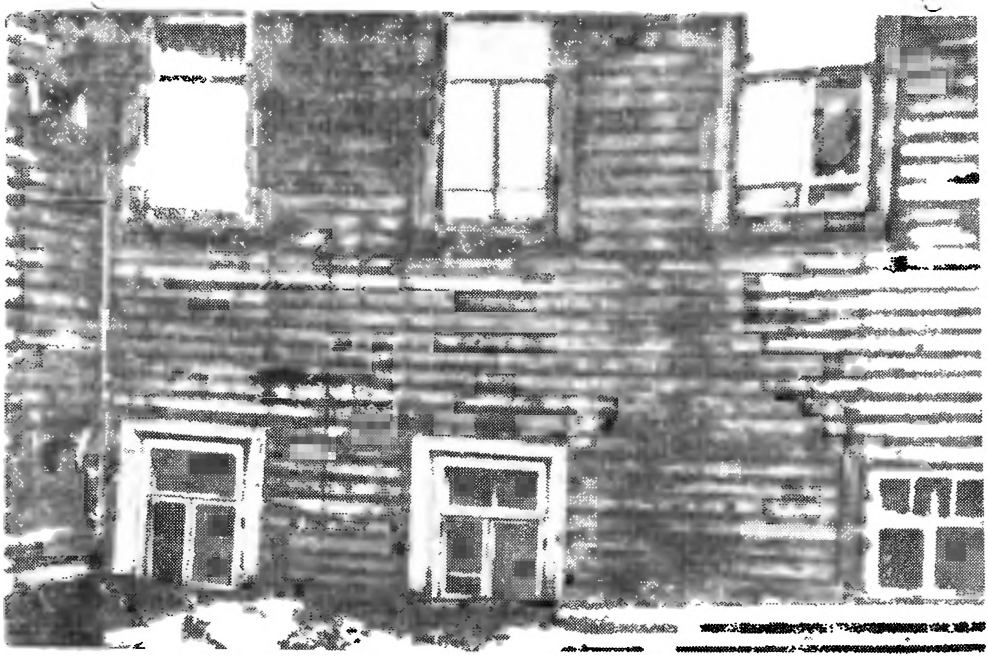


РИС. 44.
Осевший дом, построенный на торфянистых грунтах

стых породах, внешний край которых удаляется от периметра зданий на расстояние 50—120 м и более. При плотной застройке одиночные осадочные воронки смыкаются, и под городом в целом формируется крупноплощадная депрессионная поверхность в виде чаши оседания сотообразного строения, включающая множество одиночных и современных воронок разного диаметра и глубины (антропогенное гравитационное поле). Например, в Москве имеется более 100 тыс. зданий и сооружений, столько же и осадочных воронок глубиной от 1 до 35 см. По данным Н. И. Бараш, в Омске в 1960 г. насчитывалось 58 712 домов с удельным давлением от 0.01 до 0,4 МПа; величина оседания колеблется от 1 до 708 мм. Известны уникальные по размерам осадки в СССР и за рубежом. В нашей стране величина осадки некоторых земляных плотин и дамб, возведенных на слабых сильносжимаемых грунтах, достигали 3—5 м. Оседание одного нефтепромыслового объекта, построенного в акватории Каспийского моря на рыхлом морском иле, составило 6 м. В Архангельске, где 75% территории города занято заторфованными болотами, осадка улиц, дорог и отдельных домов вследствие уплотнения торфов достигает 1—4 м [79]. На рис. 44 показано «врастание» в Архангельске жилых зданий в землю в результате большой осадки. При строительстве для предпостроечного уплотнения торфяных грунтов применяют песчаную пригрузку способом намыва. В последние годы в этом городе стали строить высотные

здания на железобетонных сваях, углубленных в устойчивый минеральный грунт. Длина отдельных свай достигает 30—35 м.

Большие осадки наблюдаются в зарубежной строительной практике. Так, в США в штате Виргиния при строительстве эстакады, связывающей два искусственных острова с берегом, основанием служили глины мощностью 24 м. Для ускорения осадки были применены песчаные дрены, вблизи которых осадка достигла 4 м [177]. Во Франции в устье р. Вилен (Южная Бретань) насыпная плотина Арзаль высотой 13 м, построенная на рыхлых иллитовых тонкодисперсных водонасыщенных илах мощностью 30 м, дала осадку в 3,91 м. Илы имели влажность 150—200%, коэффициент пористости 4—5,5, число пластичности 40—50, предел текучести 110—130 (верхняя часть толщи). Насыпь возводилась медленно, в течение 1966—1971 гг. [175].

В Канаде осадка дорожной насыпи высотой 10,7 м, в основании которой залегают сильносжимаемые суглинки, супеси и мелкие пески мощностью 18 м, измеряемая с 1964 г., достигла 2,26 м. Осадка с замедленной скоростью продолжается до настоящего времени [179]. Г. Марш в своей знаменитой монографии, изданной еще в 1836 г., приводит случай уникальной осадки, равной 60—100 футов (18,3—30,5 м), некоторых земляных плотин в Нидерландах, построенных на мягких морских илах. По мере осадки высота плотин наращивалась, увеличивая их массу и осадку. По-видимому, такая большая осадка сопровождалась еще и боковым выпором слабых илов основания [94].

В г. Мехико осадка Дворца изящных искусств достигла 4,8 м (в основании — сильносжимаемые бентонитовые гидрофильные глины). Здание Национального театра здесь осело на 3 м и продолжает садиться на 12.8 см в год.

В строительстве и эксплуатации зданий и сооружений опасны не так абсолютные, как неравномерные осадки. Неравномерность осадок иногда достигает большой величины. Знаменитая Пизанская башня высотой 60 м, расположенная в г. Пизе, при нагрузке в 0,5 МПа имеет общую осадку, равную 2 м, а разность осадок между северной и южной гранями основания составляет 1,8 м, наклон по вертикали достиг 4,8 м. В основании залегают недостаточно прочные пески, подстилаемые засоленной глиной.

В Англии старинная церковь в Бристоле, построенная в 15 в. на болотистом грунте, дала большую и неравномерную осадку. Отклонение церковной башни в нижней части достигло около 1,2 м [88].

В Самарканде наклонились некоторые минареты Улугбека редчайшие архитектурные памятники первой четверти XV в. Юго-восточная башня — минарет высотой 33 м и массой более 1 тыс. т — отклонилась по верху от вертикали на 1,78 м. Осевший край был приподнят на 418 мм, благодаря чему минарет был выровнен.

Осадки — регулируемый антропогенный процесс. Они понижаются предпостроечным уплотнением грунтов (метод гравитационной пригрузки, трамбование, укатка, виброуплотнение, силикатизация, смолизация, цементация и др.). Осадка регулируется также инженерно-конструктивными мероприятиями: уменьшением массы здания и сооружения, увеличением глубины заложения фундаментов, уширением площади фундаментов и пр.

Регулируются и неравномерные осадки путем: а) изменения неравномерной сжимаемости грунтов способами выборочной технической мелиорации; б) дифференциации весовой статической нагрузки; конструкции фундаментов и глубины их заложения; в) применения разрезных конструкций и г) повышения жесткости зданий и сооружений.

В системе антропогенного гравитационного поля наблюдается не только оседание, но и поднятие поверхности, которое бывает двух типов: а) выпор грунтов как следствие их перегрузки и б) выпор грунтов как следствие разгрузки их напряженного упругого состояния.

Первый тип развивается в местах приложения чрезмерных статических нагрузок, когда давление от массы зданий и сооружений превосходит сопротивление (нескальных, чаще связных) грунтов сжатию. Величина выпора может достигать 3 м (Соколовско-Сарбайский обогатительный комбинат).

В Польше на Махувском серном карьере накапливались крупные отвалы, проектная высота которых определена в 120 м при генеральном угле 11°. В основании отвалов залегают третичные глины краковской свиты, сверху пластичные грунты, перекрытые небольшим слоем плейстоценовых песков. Явление выдавливания началось в 1967 г. при высоте отвалов в 30 м. К августу 1968 г. выпор охватил зону шириной до 530 м, с максимальной высотой поднятия поверхности земли до 15 м.

Второй тип выпора пород приурочен к местам гравитационной разгрузки напряженного состояния пород, что наблюдается в системе карьеров, котлованов, траншей и дорожных выемок; при изъятии породных масс и в других условиях, когда снимается или уменьшается статическая нагрузка с поверхности земли (разбор зданий и сооружений, терриконов, горных отвалов, спуск водоемов и т. п.). Во всех этих случаях происходит изменение напряжений в массиве пород и пространственное вертикальное и боковое перераспределение минеральных частиц.

В СССР в глубоких карьерах и строительных котлованах отмечены выпоры пород на величину от 5 до 500 мм. Гидропроектом выполняются оригинальные и исключительно ценные наблюдения за разгрузочным поднятием дна строительных котлованов под тяжелые и ответственные гидротехнические сооружения. Котлованы имеют глубину до 20—50 м, со снятием природной нагрузки от 0,4 до 1 МПа, существуют открытыми от 3 до 10 лет. По данным Гидропроекта (Н. И. Калмыкова, Л. А. Молоков, В. К. Разумов), наблюдались следующие явления выпора дна котлованов [21]. На Свирской ГЭС, основанием которой служат пестроцветные девонские глины, максимальный подъем дна котлованов составлял при глубине котлована 6 м — 7 см, при глубине 8 м — 12 см и при глубине 14 м — 15 см. Котлован Саратовской ГЭС размером 0,5 × 1,2 км, глубиной до 20—30 м без пригрузки существовал до восьми-девяти лет. В основании вскрыты плотные неокомские глины мощностью около 80 м. Величина разгрузки составляла 0,2—0,6 МПа. В котловане рисбермы за десять с половиной лет подъем дна на глубине 31 м составил 136 мм, на глубине 23 м 130 мм, на глубине 18 м — 77 мм. В среднем подъем на каждые 0,1 МПа разгрузки составлял 40 мм, средняя скорость подъема дна котлована за период наблюдений от трех до девяти лет была 1,5 мм/мес.

Как показали глубинные реперы, процесс разгрузки пород проявлялся до глубины 50 -75 м.

Во Франции в долине р. Нижней Роны при строительстве гидростанции Сен-Валье в крупном котловане деформации пучения морских плейстоценовых глин составили 150 мм [182].

С гравитационными воздействиями человека на склоны и откосы (нагружение верхней прибровочной части) связаны оползневые и обвальные смещения пород, которые описаны выше при характеристике антропогенных оползней и обвалов.

В последние годы для некоторых городов составлены карты вертикальных смещений дневной поверхности по данным повторного нивелирования (Москва, Баку, Одесса, Лондон, Сан-Франциско. Токио, Осака и др.). Для территории Москвы А. И. Снобковой под руководством автора составлен комплекс карт вертикальных смещений земной поверхности по данным повторного нивелирования в 1901, 1936, 1950, 1965 гг. Максимальная осадка отдельных реперов превысила 1 м. Карты позволили установить закономерности в пространственном распределении осадок.

Гравитационное поле Земли в целом также испытывает антропогенные изменения. Напряженное состояние земной коры не может не изменяться, когда из недр земли ежегодно извлекается 100 млрд. т горных пород, что составляет 25 т/год на одного жителя планеты, ежегодно откачивается более 2 млрд. нефти, 900 млрд. м^3 газа, 12 км^3 подземных вод.

Глобальный процесс техногенной денудации, безусловно, изменяет силы тяжести Земли. Но возникает вопрос, не могут ли указанные выше глобальные нагрузки и разгрузки отразиться на глубинном процессе изостазии и нарушить равновесие масс земной коры и мантии. Мнения исследователей по этой сложной проблеме разделились, некоторые считают, что в крупных городах под влиянием веса городской застройки происходит изостазический прогиб, а вокруг города — компенсационное поднятие.

Вопрос о взаимодействии антропогенной гравитации и изостазии подлежит изучению при участии геофизиков и тектонистов.

Литодинамические процессы и явления, вызванные динамическими и ударными нагрузками

Природная геологическая среда испытывает изменения под влиянием динамических и ударных воздействий, связанных с деятельностью человека. Искусственные динамические и ударные нагрузки изменяют свойства пород, геодинамическое состояние земной коры и при соответствующих условиях отрицательно воздействуют на устойчивость зданий и сооружений.

Источниками искусственных динамических воздействий на среду являются вибрации, вызванные наземным и подземным транспортом, различными вибрационными и ударными машинами и механизмами (двигатели, турбогенераторы, турбины, компрессоры, вибраторы, скреперы, бульдозеры, копры-молоты и др.).

В класс антропогенных литодинамических процессов. по-видимому, следует отнести также искусственные землетрясения, которые в современной литературе многие называют

вызванными, или возбужденными. землетрясениями, поскольку человек не создает заново такое напряженное состояние земной коры, при котором возникает землетрясение, а только вызывает его и действует лишь как «спусковой механизм» естественных напряжений. Колебание и перемещение минеральных частиц, сотрясение, сдвижение пород могут вызываться мощными ядерными наземными, подводными и особенно подземными взрывами. Изменения и сотрясения пород вызывают также взрывы атомных, фугасных бомб, мин, снарядов, ракет и зарядов ВВ во время военных действий. В последние годы взрывное дело стало широко применяться при осуществлении земляных, строительных и горных работ. Механизм и характер воздействий на породы перечисленных возбудителей различный, он достаточно описан в литературе и поэтому здесь не освещается.

Динамические и ударные воздействия на геологическую среду развиты весьма широко в связи с развитием индустриальных процессов и транспорта. Максимально они распространены на дорогах, в городах, на промышленных, горнорудных предприятиях, новостройках, на театрах военных действий прошлых войн.

В 1972 г. протяженность железных дорог в СССР составляла 221 тыс. км, автомобильных дорог с твердым покрытием — 241,5 тыс. км. Общая протяженность всех дорожных путей в стране, в сфере влияния которых развиваются динамические напряжения и деформации, превышает 1,9 млн. км. Развитие индустрии и транспорта будет расширять сферу динамических воздействий.

Различные типы пород дифференцированно реагируют на динамические и ударные воздействия. Раздельно-зернистые недоуплотненные породы (пески, гравий, галечник) со степенью плотности $D < 0{,}6$ под влиянием вибрации уплотняются. Связные тиксотропные сильно увлажненные породы теряют свою структуру, устойчивость и разжижаются.

Экспериментальные исследования Лаборатории гидрогеологических проблем им. Ф. П. Саваренского АН СССР коллоидно-песчаных пород плывунного типа показали, что при вибрации прочность тиксотропных пород снижается до малых значений; после прекращения вибрации она восстанавливается, достигая прочности конечной влажности образцов (И. М. Горькова, В. Ф. Чепик, К. Н. Рябичева).

Скальные и полускальные породы не реагируют на вибрации (за исключением трещиноватых и выветрелых), под влиянием ударных и взрывных воздействий они служат активными проводниками упругих колебаний и способны к разрушению.

Ударно-взрывные воздействия оказывают сложное и неоднозначное воздействие на породы, вызывая и уплотнение, и разрушение, и разрыхление (выброс пород). При атомных взрывах, кроме того, происходят сопутствующие термические и химические изменения (Хиросима, Нагасаки).

Во вторую мировую войну фашистами было разрушено в СССР 1710 городов и поселков, 40 тыс. сел и деревень и 32 тыс. фабрик и заводов. Ударно-динамические военные воздействия внесли значительные преобразования в окружающую геологическую среду, изменили естественное гравитационное поле, напряженное состояние пород, гидрогеологические условия, рельеф, вызвали на склонах оползни, обвалы, осыпи

и другие геологические явления (Киев, Волгоград и др.).

Автором выделен вибрационный тип уплотнения и осадок грунтов. Экспериментально установлено, что городской автотранспорт вызывает виброколебания, проникающие на глубину 10—20 м, а трамвай — до 20 и даже 70 м. Транспорт вызывает вертикальные и горизонтальные колебания, которые на застроенных территориях передаются фундаментам, а через них сооружениям; сотрясения сооружений, в свою очередь, действуют на грунты основания. На величину колебаний влияет скорость транспорта, его нагрузка, тип шин, свойства дорожных покрытий. Виброосадки достигают 5—50 см; максимальная осадка наблюдается при числе колебаний от 500 до 2500 в 1 мин (опасный интервал колебаний).

Известны многочисленные примеры осадок, вызванных динамическими нагрузками не только отдельных зданий и сооружений, но и целых кварталов, улиц и районов (Москва, Ленинград, Киев, Таллин, Одесса, Баку, Ростов-на-Дону, Берлин, Мюнхен, Сан-Франциско и др.). Согласно исследованиям А. И. Снобковой, выполненным под руководством автора, и статистической обработке результатов повторного нивелирования (1901, 1936, 1950, 1965 гг.) стенных реперов в Москве в условиях распространения песчаных пород установлено, что здания, расположенные вдоль улиц с интенсивным транспортным движением, осели в среднем на бо́льшую величину (10—25 мм), чем здания в переулках и тупиках (7—17 мм). С каждым годом интенсивность уличного движения транспорта возрастает. В 1976 г. ежедневно на улицах Москвы курсировало 5550 автобусов, 1940 троллейбусов и 1130 трамваев.

Колокольня знаменитого храма Василия Блаженного в Москве за последние десятилетия стала заметно наклоняться в сторону здания ГУМа. Храм построен в 1554—1560 гг., колокольня — в 1660—1670 гг., следовательно, осадка ее давно стабилизировалась. Однако к настоящему времени вершина колокольни отклонилась от прямой линии на 75 см. Автор связывает наклон колокольни со вторичным вибрационным уплотнением залегающих в основании песков ходынской террасы под влиянием движения тяжелой военной техники при проведении парадов и уличного транспорта.

Ряд зданий в Москве, расположенных в зоне вибрационного влияния метрополитена, испытал дополнительную осадку на величину 5—20 см. Дополнительную осадку получили и некоторые промышленные предприятия Москвы в связи с динамическими нагрузками.

С вибрациями связано явление «сыпунов» — сухого течения песка. Песок, как вода, «течет» в естественных обнажениях, карьерах, траншеях, котлованах, просачивается через отверстия в креплениях, иногда вызывая смещение и деформации пород в массиве.

Засыпанные без уплотнения песков траншеи на городских проездах дают вибропросадки и корытообразные углубления.

Развитие взрывного дела, применение ядерных взрывов породили антропогенную сейсмику. По мощности и величине сейсмического эффекта некоторые взрывы не уступают природным динамическим агентам.

В пустыне Невада (США) 19/XII 1968 г. был произведен подземный ядерный взрыв на глубине 1400 м,

эквивалентный взрыву 1 млн. т тринитротолуола. В штате Колорадо ядерный взрыв мощностью 40 кт был осуществлен в сентябре 1969 г. на глубине более 2 км. В радиусе 80 км от эпицентра взрыва зафиксировано землетрясение в 5,5 балла, вызвавшее разрушения. Один из ядерных взрывов, произведенный в США на глубине 200 м, вызвал перемещение 5 млн. м³ пород, образование на поверхности земли открытого кратера диаметром 400 м и глубиной 100 м [88].

По сообщению американской газеты «Нью-Йорк геральд трибюн», с июля 1945 г. до конца 1958 г. в США было произведено около 250 ядерных взрывов суммарной мощностью примерно 100 млн. т тринитротолуола. Мощность их во много раз превосходит мощность взрывов всех бомб, мин и снарядов за время первой и второй мировых войн вместе взятых.

Значительный сейсмический эффект вызывают и неядерные мощные строительные и горные взрывы. Мощный взрыв 1250 тыс. кг взрывчатки, произведенный 5/IV 1958 г. в Канаде в связи с добычей полезных ископаемых, вызвал подземные толчки, которые фиксировались на расстоянии 1000 км.

Взрывы-созидатели практикуются в СССР при осуществлении различных видов строительства. Наиболее мощный взрыв произведен в урочище Медео около Алма-Аты 21/X 1966 г. для создания противоселевой плотины. Взорвано 5268 т тротила, большой массив скальных пород (25 млн. м³) был поднят в воздух и опрокинут в ущелье, что создало набросную противоселевую плотину высотой 90 м. Взрыв вызвал землетрясение в радиусе 2 км силой в 7—8 баллов.

Антропогенные, или, как их называет Н. П. Николаев, «возбужденные», землетрясения вызываются влиянием крупных водохранилищ, эксплуатацией нефтяных месторождений, нагнетанием в недра жидких флюидов и т. п. По данным Н. И. Николаева [105], таких водохранилищ в мире насчитывается более 40, и они отмечены во всех частях света. Наибольшее число возбужденных землетрясений связано с созданием крупных по площади и глубине водохранилищ.

Крупные водохранилища играют роль «спускового механизма» избыточных геотектонических напряжений в недрах земли. Водная пригрузка от водохранилищ срабатывает в благоприятных тектоно-физических условиях и вызывает сейсморазгрузку накопленной упругой энергии. Так, многие ученые объясняют природу возбужденных землетрясений, однако существуют и другие мнения (снижение прочностных свойств пород при водонасыщении, уменьшение трения, влияния гидростатического, порового давления и др.). Эти землетрясения имеют количественные и качественные особенности. Они приурочены к соответствующим геолого-тектоническим условиям, чаще к разломам, блоковой тектонике, трещиноватым породам. Сейсмическая активность повышается с увеличением глубины и площади водохранилищ, коррелируется с колебаниями уровня водохранилища, усиливается при повышении уровня, а ослабляется при его понижении. Сейсмические толчки чаще имеют незначительную магнитуду — менее 2—2,5, реже достигают 3,5—5 и только в отдельных случаях достигают 6—6,5. Глубина очагов незначительная, чаще менее 5—10 км, в связи с чем уменьшается

радиус зоны сотрясений (площадь 1000 км²).

Наиболее значительные антропогенно-возбужденные землетрясения при устройстве плотин и заполнении водохранилищ отмечены в районе оз. Мид у плотины Гувер Дэм на р. Колорадо, в Кремасте (Греция), Карибе (Африка) и др. В 1966 г., когда уровень водохранилища Мид на р. Колорадо достиг 100 м, произошел первый толчок. В последующие 10 лет было зарегистрировано около 6 тыс. толчков (чаще слабых) на площади 8 тыс. км².

В Японии в районе водохранилища Куробэ за семь лет было зарегистрировано 1182 землетрясения. Во Франции в районе плотины Монтаньяр после заполнения фиксировалось до 23 толчков в год. В трех случаях землетрясения имели разрушительные последствия (Кремаста в Греции, Койна в Индии и Кариба на р. Замбези в Африке). В Кремасте глубина водохранилища 150 м, землетрясение разрушило 41 поселение, без крова осталось 12 тыс. жителей.

В СССР первое антропогенно-возбужденное землетрясение зарегистрировано в Таджикистане в сейсмоактивной зоне в долине р. Вахш в связи со строительством Нурекской плотины проектной высотой 300 м. Сейсмическая активность резко возросла при заполнении водохранилища до отметки 100 м, число землетрясений при этом достигало 30—40 в декаду; в радиусе 15 км от водохранилища магнитуда составляла 4—4,5 [105].

Известны антропогенные землетрясения, вызванные нагнетанием жидкости под напором в глубокие скважины. Например, в районе Денвера (США) в трещинные докембрийские породы с 1962 по 1966 г. производилась закачка жидкости в поглощающую скважину глубиной 3400 м; в месяц закачивалось в среднем 22 млн. л жидкости (1965 г.). Это вызвало землетрясения с магнитудой от 1 до 4,1 по шкале Рихтера (не более 5 баллов), число которых в 1965 г. в среднем составило 45 в месяц. К ноябрю 1965 г. было зарегистрировано до 700 толчков. В апреле 1967 г. произошел 71 толчок с максимальной магнитудой 4,8 (около 6 баллов). Сброс сточных вод в скважину был прекращен в 1966 г. [88].

Антропогенные землетрясения можно не только прогнозировать, но и предупреждать и управлять ими, поскольку они порождаются инженерной деятельностью человека.

Субтерральные процессы и явления, вызванные подземными выработками

В группу процессов, вызванных изменением напряженного состояния массива грунтов, входят процессы и явления, связанные с добычей полезных ископаемых и подземным строительством. Они разделены автором по условиям и характеру образования на три класса: 1) вызванные подземными выработками; 2) вызванные открытыми выработками и 3) вызванные извлечением из недр нефти и газа. Рассмотрим процессы и явления в земной коре, вызванные подземными выработками.

Использование подземного пространства началось еще на заре истории человечества; оно связано с устройством подземных жилищ и укрытий и добычей полезных ископаемых. Пещерный этап обитания существовал еще в период доисторического развития человека в Африке,

Европе, Америке, Австралии. Устройство подземных складов, кладбищ, храмов, поселений, городов и горнодобывающее производство с устройством шахт, штолен и штреков было развито в рабовладельческую эпоху, в древней Греции и Римской империи и на древнем Востоке еще до нашей эры. Римляне умели строить тоннели, добывать серебро, золото, железо открытым и закрытым способами, вести военные действия с применением подкопов.

В современную эпоху человек глубже проник в земную кору. Получили развитие такие виды подземного строительства, как промышленное, гражданское, гидротехническое, транспортное, горное, военное и др.

Во время второй мировой войны для сохранения потенциала военного производства и в связи с разрушительными бомбардировками с воздуха в ряде стран сформировалась подземная военная промышленность, система подземных сооружений гражданской обороны. Под землей строились военные, главным образом авиационные, ракетные и химические заводы, склады оружия, бомб, снарядов ВВ, гаражи, аэродромы, правительственные и военные учреждения, различные укрытия, стоянки подводных лодок на побережьях и др. Для размещения этих объектов использовались существующие выработки (шахты, штольни, штреки, тоннели, метро, катакомбы и т. п.) и строились новые, преимущественно в холмисто-горной местности.

Военное подземное строительство осуществлялось в Германии, Италии, Англии, Швеции, Франции, Чехословакии, Японии, СССР и в других странах. Наиболее широко подземное пространство использовалось в Германии с 1942 г. в связи с разрушительными бомбардировками с воздуха. К ноябрю 1944 г. площадь подземных предприятий здесь составляла около 455 тыс. м^2.

Скачок в урбанизации стимулировал более широкое использование подземного пространства на территориях крупных городов. Появилась новая отрасль — строительство крупных подземных хранилищ нефти, газа и подземных вод (магазинирование).

Из перечисленных видов подземного строительства наиболее интенсивное и широкое воздействие на окружающую геологическую среду оказывают горнодобывающая промышленность и подземное гражданское строительство. К ним приурочено наибольшее число субтерральных геологических процессов.

Горное строительство проникает на значительную глубину. Еще недавно шахта глубиной 1 км была редкостью, теперь такие шахты довольно распространены, например, в Донецке эксплуатируется угольная шахта «Петровская — Глубокая» глубиной более 1300 м. На Северо-Уральском бокситовом месторождении глубина шахт превышает 1500 м. В СССР проектируется увеличение глубины добычи угля до 1200—1400 м, железной руды — 1500 м.

В Чехословакии добыча серебра ведется на глубине 2200 м. Глубина золотоносных рудников в Южной Африке достигает 3950 м, в Индии — 3800 м. Добычу на такой глубине из-за высокой температуры (геотермический градиент) приходится вести с нагнетанием в забой холодного воздуха. Некоторые горные тоннели имеют глубину 2 км (Симплонский, Трансальпийский).

Антропогенные субтерральные геологические процессы и явления имеют следующие специфические черты

1. Генезис их антропогенный, свя-

занный с вмешательством человека в подземную среду.

2. Формируются избирательно в зависимости от вида и характера подземного строительства. Обусловлены не только природными условиями, но и горно-технологическими, горно-эксплуатационными факторами (глубина заложения, назначение, размеры и форма сооружения; система разработки, скорость проходки, способ управления кровлей, техническая мелиорация и др.).

3. Развиваются внутри массива горных пород в сфере влияния подземного сооружения. Представляют собой результат взаимодействия сооружений и окружающей среды.

4. Максимальное развитие приурочено к сечению подземных выработок. меньшая степень проявления наблюдается в породах выше кровли выработок (сдвижение, разрыхление пород). Глубинные процессы фиксируются на поверхности земли в виде оседания, трещин, провалов, воронок, «гейзеров» и др.

5. В формировании субтерральных процессов и явлений участвуют и другие силы, факторы и условия: а) горное давление, обусловленное гравитационными силами тяжести; б) гидростатическое давление; в) взвешивающее влияние подземных вод; г) гидродинамическое давление; д) термический градиент; е) сейсмотектонические и скрытые, непроявленные внутренние напряжения; ж) глубинная ползучесть глинистых пород; з) изменение физико-механических свойств, постепенное выравнивание их с глубиной, чему способствует увеличение давления и температуры.

6. Действие внешних агентов незначительно, в связи с чем ослаблено влияние климатической зональности. С глубиной влияние экзогенных геологических факторов ослабевает и полностью прекращается.

7. Характер и направленность некоторых процессов и явлений может не соответствовать природным условиям.

8. Развиваются интенсивнее и быстрее, чем природные субтерральные процессы и явления.

9. Более управляемые, чем природные.

Краткая обобщающая характеристика антропогенных субтерральных геологических процессов и явлений дана в табл. 13.

Наибольший ущерб причиняют сдвижение грунтов в массиве, образование мульд проседания и провалов поверхности земли. Они обычно служат заключительной фазой проявления других процессов в системе горных выработок. Внутри массива в результате смещения грунтов кровли появляются трещины, пустоты, грунты разрыхляются (коэффициент разрыхления изменяется в пределах от 1,03 до 1,3). По данным Б. Е. Бронштейна, в зоне разрыхления угол трения у песчано-глинистых пород уменьшается на 2—10%, сцепление — на 25—35%, объемная масса — на 2—5%, коэффициент пористости увеличивается на 6—8%.

Однако свойства грунтов изменяются неоднозначно: прочностные характеристики могут понижаться (в зоне растяжения) и повышаться (в зоне сжатия). На поверхности земли иногда образуются трещины разрыва, протяжением на сотни и тысячи метров, ширина трещин в Мосбассе достигает 2 м. Максимальные деформации происходят при проходке выработок с обрушением кровли. Добыча угля с применением системы обрушения кровли, по мнению Н. В. Мельникова [96], достигает

ТАБЛИЦА 13

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АНТРОПОГЕННЫХ СУБТЕРРАЛЬНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ

Вид процесса и явления	Краткая характеристика	Условия развития
Подземное выветривание	Физическое и химическое выветривание пород. Агенты выветривания: CO_2 воздуха, вода, колебания температуры, снятие напряжений, экскавация. Развитие трещиноватости, отслоения, шелушения, осыпания, обрушения пород	Длительное обнажение пород в подземных выработках. Процесс протекает медленнее, чем на поверхности земли. Ослаблено действие внешних агентов выветривания
Отжим, вывалы твердых пород	Отжим и вывалы кусков и блоков твердых пород под влиянием горного давления и разгрузки упругой энергии	Наличие трещиноватости и слоистости в скальных, полускальных и твердых глинистых породах, непроявленной упругой энергии (внутренних напряжений)
Обрушение пород	Потеря устойчивости и внезапное обрушение пород кровли и бортов выработки (подземный завал)	Отсутствие крепления. Неустойчивое состояние пород в сечении выработки (трещиноватость, выветрелость, кусковатость)
Осыпание, сухое течение песков	Гравитационное падение минеральных зерен с поверхности песчаных и супесчаных пород, выветрелых песчаников	Осыпание развивается при уменьшении влажности песчано-глинистых пород. Сухое течение песков происходит через отверстия в крепи
Накопление антропогенных отложений	Субтерральный литогенез. Накопление продуктов выветривания, вывалов, обрушения, твердых отходов деятельности человека, тампонажных заполнителей, остатков сооружений	Максимальное накопление в старых, брошенных, обрушившихся и затампонированных выработках. Максимальные мощности в выработках большого сечения
Горное стреляние, удары	Мгновенная разгрузка энергии упругой деформации высокопрочных скальных пород в местах максимальных концентраций напряжений и их перераспределения в связи с проходкой	Высокая прочность и жесткость скальных пород, обладающих большими внутренними напряжениями. Наблюдаются на больших глубинах, обычно более 200 м
Упругое пучение	Объемная деформация выпора пород в сторону выработки, обусловленная разгрузкой упругих напряжений	Характерно для пород, обладающих запасом непроявленной энергии упругости
Пластическое течение	Пластическое выдавливание и течение глинистых пород под действием сил горного и гидродинамического давления	Наиболее характерно для высокодисперсных, пластичных, монтмориллонитовых, гидрослюдистых, гидрофильных глин, обладающих повышенной влажностью и неустойчивой консистенцией
Оплывание	Оплывание водонасыщенных песчано-глинистых пород текучей консистенции	Избыточное увлажнение пород, склонных к оплыванию, выходами и высачиванием подземных вод

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ.

Вид процесса и явления	Краткая характеристика	Условия развития
Выбросы пород, воды и газа	Выбросы рыхлых пород и вод происходят при прорыве на дневную поверхность сжатого воздуха («антропогенные гейзеры») на высоту 5—15 м Внезапные выбросы угля и газа в выработки характерны для глубины более 100—250 м	Кессонный способ проходки выработок вблизи поверхности земли. Выбросы образуются в рыхлых песчано-глинистых отложениях Приурочены к местным тектоническим разрывам и нарушениям угольного пласта
Прорыв поверхностных, подземных вод и плывунов	Возникают внезапно при вскрытии напорных водоносных горизонтов, плывунных пород, при малой мощности водоупоров, наличии разломов, трещин, пустот и больших гидравлических градиентов. Исчезают реки, озера, пруды, затапливаются выработки, на поверхности земли образуются провалы	Прорыв вод и плывунов через старые и новые трещины и пустоты, образующиеся при сдвижении пород в массиве, заброшенные шахты, шурфы, колодцы. Наличие напорных вод и плывунных пород
Механическая и химическая суффозия	Размыв и растворение пород, вынос мелкодисперсных частиц и солей, суффозионное разуплотнение, декольматация и развитие карста	Градиенты напора, вызывающие движение подземных вод, фильтрационный размыв и выщелачивание пород. Критические скорости. Напорная фильтрация подземных вод, водоотлив
Гидродинамический выпор	При небольшой мощности водоупорного пласта вследствие гидродинамического давления происходит фильтрационный выпор пород	Гидродинамическое давление превосходит фильтрационное сопротивление глинистого пласта
Подземные пожары	Выгорание пластов каменного угля, горных сланцев, торфа, сопровождаемое обрушением и сдвижением пород	Самовозгорание и загорание при производстве горных работ
Сдвижение пород в массиве	Сдвижение пород вследствие процессов обрушения, вывалов, выпуска вод, плывунов, сыпунов и др., приводящих к образованию пустот, перераспределению частиц и блоков, нарушению естественной структуры, понижению прочности массива	Наличие в геологическом разрезе рыхлых осадочных и трещиноватых скальных пород. Развитие геологических явлений зависит от способа ведения горных работ, системы и качества крепления
Образование на поверхности земли мульд проседания, трещин, провалов и воронок	Деформации поверхности земли представляют собой заключительную фазу подземных геологических процессов и явлений. Мульды, трещины, провалы и воронки — отражение сдвижения пород в массиве	Наличие пород немонолитного сложения, способных к сдвижению; развитие подземных процессов с перемещением пород в выработки

РИС. 45.
Повреждение здания, вызванное неравномерным проседанием подработанной территории

80—90%, что связано с экономичностью этой системы.

Проседание может достигать нескольких метров и в отдельных случаев десятков метров, а ширина мульд проседания — нескольких километров. Глубина проседания обычно колеблется в пределах от 50 до 80% от мощности разработанного пласта. Так, в районах Прокопьевска, Киселевска и Анжеро-Судженска глубина провалов над выработками превышает 20 м, достигая иногда 70 м.

Динамика сдвижения грунтов и деформации земной поверхности контролируются геологоструктурными условиями. С процессами сдвижения грунтов и неравномерного оседания поверхности земли связаны деформации и разрушения железных и автомобильных дорог, мостов, каналов, зданий, подземных магистралей и др. Иногда исчезают реки, озера, болота, пруды; вода проникает в подземные выработки и затапливает их.

Большая катастрофа произошла в Японии на рудниках, разрабатывающих пласты угля под океаном. Разработка угля велась в песчаниках на глубине 45—70 м ниже дна океана и с удалением от берега на 1,2 км. Океаническая вода внезапно прорвалась через тектоническую трещину в песчаниках, которая была расширена под влиянием подземных разработок. Два рудника были затоплены в течение 2 ч, при этом погибли 237 человек [6]. Нередко горные разработки в связи с осушением месторождений лишают города и поселки источников водоснабжения. В старину охрана подземных вод осуществлялась чрезвычайно строгими мерами. Примером может служить указ принца Баварского (1600 г.), который грозил смертной казнью за приближение горных выработок к водоносным слоям, питающим водой г. Льеж (Бельгия).

В Донбассе в связи с проходкой угольных шахт на глубину до 1300 были сдренированы многочисленные водоносные горизонты, используемые для водоснабжения. Пришлось строить специальный канал Северный Донец — Донбасс, чтобы обеспечить города, поселки, предприятия и сельское хозяйство водой.

В СССР много городов расположено на подрабатываемых территориях, в некоторых из них наблюдаются массовые деформации зданий и сооружений. На рис. 45, 46 приведены примеры разрушения зданий и по-

РИС. 46.
Деформации пород на подрабатываемой территории (фото В. Н. Славянова)

верхности земли под влиянием подработки территории.

Комплекс геологических процессов формируется при строительстве метрополитенов, коммунальных, железнодорожных, автомобильных, гидротехнических и других тоннелей. Общая протяженность тоннелей различного назначения в мире в 1960 г. достигала 13 тыс. км, в 1970 г. она удвоилась.

В период строительства и эксплуатации метро происходят существенные изменения в геологической среде города. Активизируются существующие процессы и явления (оползни, обвалы, просадки, карст и пр.) и формируется комплекс новых геологических процессов типично антропогенного характера.

Характер геологических процессов и явлений, связанных со строительством метрополитена, несколько специфичен — количественно и качественно отличен от процессов и явлений, возникающих при подземной разработке полезных ископаемых. Это различие наиболее отчетливо проявляется в масштабе и динамике процесса сдвижения пород и образования мульд проседания.

Мульды проседания при строительстве метро повторяют контуры тоннелей и станций, глубина их соответствует глубине заложения, достигая 100 м и более. Ширина мульд над перегонными тоннелями изменяется от 40 до 200 м, над подземными станциями — от 160 до 300 м. Углы сдвижения грунтов в массиве колеблются в широких пределах — от 21 до 47°. Оседание поверхности земли в мульдах сдвижения изме-

РИС. 47.
Один из храмов подземного города Чуфут-Кале. Крым

няется от 1 до 100 см. Максимальные осадки поверхности земли в мульдах сдвижения достигали в Москве 100 см, в Ленинграде — 80 см, Киеве — 50 см, Баку — 26 см. Применение горного способа при проходке сооружений метро в 2—4 раза увеличивает оседание, по сравнению со щитовым способом.

Подробную информацию о геологических процессах, связанных со строительством метрополитенов, читатель найдет в ряде опубликованных работ автора [62, 78], а также Г. Н. Сазонова, Ю. А. Морозова, Р. Ю. Яхьяева и др.

В крупных городах мира в связи с недостатком городских земель возникла необходимость более широкого использования подземного пространства для нужд градостроительства. Разрабатываются генпланы подземной планировки городов, в некоторых уже осуществляется подземное строительство в несколько ярусов (Москва, Токио, Париж, Лондон и др.)*. В СССР намечается составление схемы использования подземного пространства во всех городах с населением более 100 тыс. человек. Эти схемы потребуют составления карт инженерно-геологического районирования подземного пространства.

В некоторых городах используются существующие горные выработки для нужд города. Так, в г. Днепроруд ном на глубине 480 м открыто подземное кафе, вмещающее два зала высотой 4 м. В Криворожском бассейне на руднике им. Коминтерна также открыты подземные кафе. В некоторых подземных выработках созданы горные музеи, почтовые отделения и даже санатории (Солотвино. для лечения больных астмой).

Проблема использования отработанного подземного пространства шахт и рудников для размещения городских объектов весьма актуальна и заслуживает внимания архитекторов, проектировщиков и строителей. В этом отношении перспективны города в районах с развитой горнодобывающей промышленностью (Допбасс, Кузбасс, Мосбасс, Кривбасс и др.), где имеются большие резервы отработанных горных выработок.

Характеризуя различные виды подземного строительства, нельзя не отметить древние подземные города, поселения, катакомбы, которые оказывают влияние на современную застройку и окружающую

* Правда. 1973. 23 авг.

среду (Крым, Грузия, Одесса, Киев и др.). Хорошо известен средневековый подземный город Чуфут-Кале, расположенный в Крыму около Бахчисарая, в котором почти все сооружения и дома вырублены в скалах (рис. 47). Пещерный город Инкерман (Крым) имеет улицы, переулки и площади. В настоящее время здесь размещается самое крупное в мире винохранилище площадью 3 га.

Уникальный подземный пещерный город XI—XIII вв., Вардзия, имеющий большое историческое значение, расположен в Грузии. На территории Киево-Печерской лавры существует целый подземный городок, включающий подземные хода сообщения, кельи, церкви, склады, погребения и пр. Эти подземные сооружения принято называть пещерами. Часть пещер была выкопана еще в IX в. С тех пор под влиянием процессов подземного выветривания, проникновения атмосферных и сточных вод на ряде участков пещеры стали разрушаться, обваливаться, вызывать провальные явления на поверхности земли и деформировать наземные здания, имеющие историческое значение.

Катакомбы известны в Одессе, Керчи, Евпатории, Кишиневе и других городах страны.

В Одессе катакомбы имеют суммарную протяженность свыше 1500 км, распространены на площади более 900 га как в центре, так и на окраине города, залегают на глубине от 4 до 45 м, иногда в 2—3 яруса.

В Одессе под влиянием внешних воздействий, сил горного давления и эндолитогенных процессов катакомбы стали деформироваться и разрушаться (рис. 48). С катакомбами связан специфический комплекс таких антропогенных геологических

РИС. 48.
Деформация столба-целика в одесских катакомбах

процессов и явлений, как подземное выветривание, раздавливание целиков, трещиноватость, отслоение, вывалы, формирование куполов обрушения в кровле, завалы, боковой выпор, конденсация влаги, выщелачивание, карст, прорыв грунтовых и поверхностных сточных вод и др.

Подземные города, пещеры и катакомбы имеются в Париже, Риме, Неаполе, Берлине, Дамаске, Матере, Тунисе, Александрии, Сиракузах и др.

Город Пермь расположен на территории многочисленных (более 507) старых заброшенных рудников, где в XVIII и XIX вв. добывались медистые песчаники. Субтерральные геологические процессы и связанные с ними деформации поверхности земли, зданий и сооружений изучались Л. Б. Иванцовым. На рис. 49 показана деформация здания в г. Перми, вызванная обрушением кровли древних рудников.

В последние годы в подземных полостях стали устраивать хранилища пресных вод, нефти, газа,

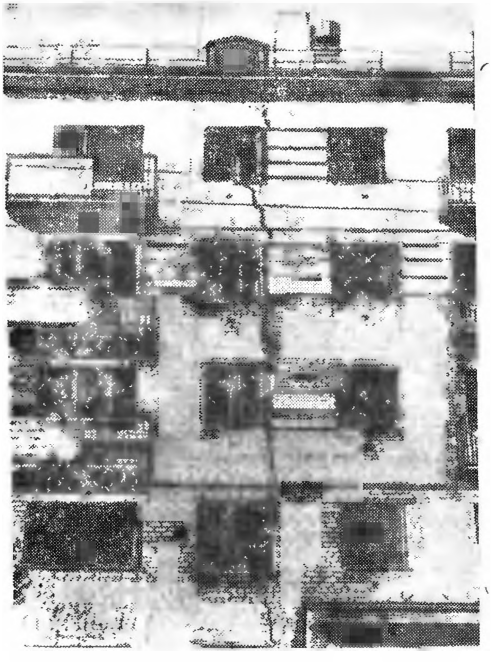


РИС. 49.
Деформации пятиэтажного дома, вызванная обрушением кровли старого рудника (фото Л. Б. Иванцова. 1972 г.)

керосина, бензина, кислот, щелочей и других флюидов. Для этого используются существующие искусственные и природные емкости (рудники, шахты, тоннели, пещеры) и создаются новые с помощью взрывов, растворения пород, горных работ и др. Тяжелые жидкости иногда хранятся в карьерах.

В США сооружено более 500 подземных емкостей для хранения нефти и сжиженных газов. Общий объем подземных газонефтехранилищ превышает 24 млн. м³, около 90% размещено в полостях, размытых в пластах каменной соли. Около г. Маноска (юг Франции) методом подземного выщелачивания на глубине до 1000 м в толще соляных пород мощностью 500—800 м созданы искусственные емкости для подземного хранения нефти. Диаметр полостей достигает 60—70 м, общая емкость их составляет 5 млн. м³.

Подземные хранилища газа, нефти и других флюидов в СССР создаются вокруг крупных городов (Москва, Ленинград, Киев, Ташкент, Куйбышев, Саратов, Баку, Грозный и др.). Первое хранилище в природных емкостях было создано до войны в районе Баку. Для подземного хранения газов весьма удобны и перспективны истощенные газонефтяные месторождения. В Азербайджане на отработанном газовом месторождении Калмас строится крупнейшее в Европе подземное хранилище природного газа. Подземное хранение газа и нефти имеет много преимуществ перед наземными: дешевле, безопаснее и надежнее. Создание искусственных газовых и нефтяных залежей — прямое вмешательство человека в изменение земной коры.

Расширяются работы по подземному магазинированию пресных вод. Устройство подземных хранилищ вызовет антропогенные изменения природных геохимических, гидродинамических, гравитационных и других физических полей.

Антропогенные процессы, связанные с устройством подземных хранилищ флюидов, почти не изучены. Необходимо проведение теоретических, методических, экспериментальных исследований и стационарных наблюдений.

Подземное строительство относится к наиболее сложным, трудным и дорогостоящим видам строительной деятельности человека. С ним связано активное изменение геологической среды, формирование антропогенных горнорудных ландшафтов с отвально-терриконным рельефом, мульдами

проседания и проявлениями других горно-геологических явлений. Субтерральные геологические процессы наименее изучены и требуют детального исследования.

Геологические процессы и явления, вызванные открытыми горными выработками

Открытые горные выработки (выемки) оказывают большое влияние на окружающую среду. К ним относятся карьеры, котлованы, траншеи, дорожные прорези (дефиле). каналы, рвы, окопы и др. Они широко применяются при добыче полезных ископаемых, гидротехническом, дорожном, городском и других видах строительства и благоустройства. С ними связан комплекс деформационных изменений пород и антропогенных процессов. Долговременные выемки представляют собой в сущности очаги антропогенного гипергенеза пород. При горных разработках в связи со вскрытием пород выработками происходит нарушение их естественной структуры, интенсивное выветривание, дезинтеграция, развитие трещиноватости и разуплотнение. Наблюдается нарушение статического равновесия пород и развитие сдвиговых деформаций и явлений в откосах; выпор дна и бортов выемок в связи с пучением глинистых пород; фильтрационные и диффузионные деформации пород, обусловленные резким изменением гидрогеологической обстановки; процессы дегидратационно-гидравлического сжатия пород и оседания поверхности земли в зоне влияния выемок в связи с искусственным водопонижением и др.

Интенсивность деформационных изменений пород и геологических процессов в выемках возрастает с увеличением их глубины. В СССР глубина современных карьеров достигает 100—500 м, строительных котлованов — 100 м, дорожных выемок — 50 м, траншей, каналов и рвов — 10—30 м. Устройство таких глубоких выемок нарушает равновесие в массиве пород, изменяет силовое поле напряжений, состояние и инженерно-геологические свойства пород и вызывает развитие разнообразных геологических процессов. Геологические процессы и явления, развивающиеся в системе долговременных выемок, относятся к типичным антропогенным геологическим процессам и явлениям, так как сами выемки возникают в результате деятельности человека. Кроме того, среда их формирования специфична и отличается от условий природных склонов.

Карьеры и другие выемки изменяют естественные физические поля и ландшафт местности. В рельефе появляются искусственные углубления, холмы и гряды отвальных пород; изменяется режим поверхностного стока, гидрогеологическая, термодинамическая, микроклиматическая обстановка, возникает комплекс новых разнообразных геодинамических процессов (иногда не присущих данной местности, например в условиях плоской равнины).

Открытые горные выработки применялись издавна. До наших дней сохранились многочисленные античные каменоломни. В настоящее время открытые земляные работы достигли в мире колоссальных размеров.

Открытый способ добычи полезных ископаемых значительно дешевле и производительнее по сравнению с подземным. Возможность широкого применения механизации и

мощного оборудования в карьерах увеличивает производительность труда в 2—6 раз, уменьшает стоимость добычи в 2—3 раза по сравнению с подземным способом. Поэтому в перспективных планах развития горной промышленности СССР открытому способу разработки полезных ископаемых отдается преимущество. Если в середине XX в. открытым способом в мире добывалось 45% полезных ископаемых, то к 1970 г. 70%, в том числе угля 35%, металлических руд 60%, неметаллических руд 85% и нерудных ископаемых 70%. По данным Н. В. Мельникова [96], в СССР открытым способом добывается угля 26%, железных руд 78,4%, руд цветных металлов 67,0%, горнохимических руд 40%, неметаллических полезных ископаемых 72% и местных стройматериалов 100%. Годовой объем горных работ с учетом вскрыши достигает 7,25—7,5 млрд. т, или 3 млрд. м³.

В перспективе добыча открытым способом возрастет в СССР до 75—80%, будут увеличиваться размеры и глубина карьеров, совершенствоваться их техническое оснащение. Глубокие карьеры будут составлять 65—70%. Уже сейчас в СССР имеется свыше 30 карьеров глубиной более 150 м [96]. Коркинский угольный разрез глубиной более 320 м (проектная глубина 520 м) имеет несколько уступов высотой 10—15 м и образует в рельефе террасообразную чашу. Проектная глубина железорудного Сарбайского карьера — 630 м, размер в плане 2,1 × 2,26 км. В недалеком будущем глубина карьеров будет достигать 1000 м, протяженность карьерных полей — 2—5 км.

Применение открытого способа ограничивается глубиной залегания полезного ископаемого, в связи с чем неизбежна добыча шахтным способом. Глубина подземной добычи (твердых ископаемых) в перспективе превысит 4—6 км. Наибольшее воздействие на окружающую среду оказывают карьеры, дорожные выемки и каналы вследствие их массового распространения и большого срока существования. Число долговременных выемок колоссально. В СССР насчитывается несколько десятков тысяч карьеров, так как любое строительство начинается с эксплуатации карьеров для добычи строительных материалов. Количество карьеров растет в связи с развитием открытого способа добычи полезных ископаемых. Суммарная протяженность дорожных выемок глубиной 5—50 м исчисляется тысячами километров, различных каналов — 320 тыс. километров.

Зона влияния крупных карьеров на окружающую среду обычно выходит за пределы их контуров, радиус влияния достигает десятков и даже сотен километров (КМА и др.).

Проходка открытых горных выработок в обводненных породах производится в условиях предварительного осушения месторождения и водоотлива в процессе работ. Вокруг карьеров и котлованов образуются депрессионные воронки с пологими крыльями и значительными радиусами понижения уровня подземных вод (месторождения КМА и др.). С искусственным водопонижением связаны такие сопутствующие явления, как истощение ресурсов подземных вод, исчезновение водоносных горизонтов, осушение болот, родников, колодцев, падение уровня воды в реках, уменьшение дебита водозаборов, оседание поверхности земли, деформации зданий и сооружений.

Такие явления наблюдаются в районе карьеров КМА, где открытым способом эксплуатируются Лебединское, Южно-Лебединское, Михайловское и Стойленское месторождения. Депрессионные воронки достигают территории ряда городов (Брянск, Губкин, Курск, Орел, Харьков) и угрожают их водоснабжению. Наиболее активно геологические процессы развиваются в системе самих выработок. Большой вред наносят оползни, оплывины и обвалы, приуроченные к откосам карьеров и горных отвалов, высота которых стала достигать 100 м.

Наиболее крупные оползни в СССР наблюдались в карьерах и угольных разрезах ряда месторождений. На Батурлинском угольном карьере (Урал) в 1946 г. произошел крупный оползень объемом более 1 млн. м³. В 1957 г. на восточном борту карьера образовался закол длиной 630 м и шириной 120 м. Смещение горных масс произошло по двум параллельным трещинам. Протяженность карьера в то время составляла более 3 км, ширина 400—500 м, глубина 90—100 м, высота уступов одинарных 10—12 м, сдвоенных 25 м, ширина берм 10—20 м. Действительные углы откосов превысили проектные на 7—12° по восточному борту и на 2—3° по западному.

На Богословских угольных карьерах (Башкирия) наблюдались крупные оползни объемом 5—10 млн. м³. В геологическом строении участвуют четвертичные, угленосные миоценовые, пестроцветные и пермо-триасовые отложения. На Камышбурунском руднике произошло несколько оползневых смещений в откосах отвалов вскрышных пород и бортах карьера (1954, 1955, 1956 гг.). Оползень в 1956 г. охватил участок рабочего уступа длиной 200 м, шириной до 50 м и глубиной почти на всю высоту уступа. Весьма неустойчивыми оказались отвалы рыхлого сложения, где оползни происходили неоднократно. Возникновение оползней здесь связано с размоканием глинистых пород, входящих в состав надрудной толщи (суглинки, киловые глины). Крупные оползневые смещения наблюдались на Магнитогорском разрезе, в карьерах Криворожского бассейна, Курской магнитной аномалии в Ермолаевском, Соколовско-Сарбайском карьерах и др. Исследования оползневых процессов в карьерах позволили выделить следующие основные причины оползнеобразования: а) завышение крутизны откосов; б) подрезка и размыв гидромонитором склонов; в) перегрузка верхней части откосов (отвалами и пр.); г) разупрочнение пород, вызванное выветриванием, обводнением, дефляцией, суффозией и пр.; д) прорыв подземных вод и плывунов; е) динамические нагрузки от работы механизмов; ж) изменение режима подземных вод (увеличение гидродинамического, гидростатического давления и пр.). В карьерах и котлованах, где в бортах и в основании залегают глинистые грунты, наблюдается выпучивание пород, вызванное гравитационной разгрузкой, достигающее 10—50 см и более. В бортах Сырецкого и Ново-Петровского карьеров в Киеве автор наблюдал выпучивание наглинка при вскрытии глин киевского яруса на 30—50 см в сторону от вертикальной оси.

Добыча железной руды открытым способом в карьерах КМА осложняется не только оползнями, обвалами и осыпями, но и оплыванием пород, прорывом плывунов и явлениями механической суффозии.

В Лебединском карьере КМА в толще сеноман-альбских песков

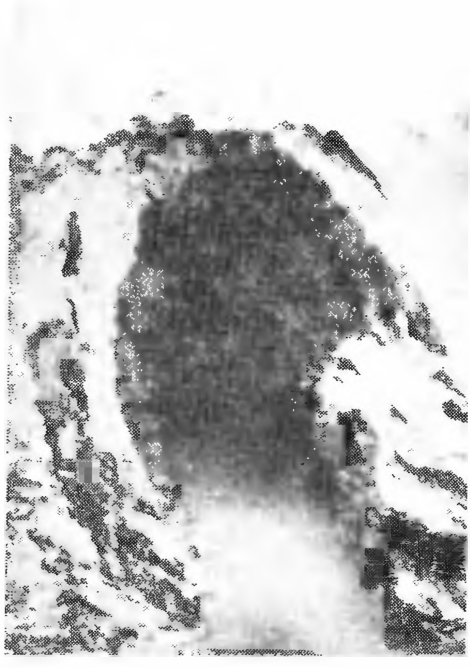


РИС. 50.
Суффозионная пещера в сеноман-альбских песках Лебединского карьера КМА

наблюдались явления механической суффозии и образования в бортах карьера суффозионных каналов и пещер диаметром 0,5—3 м (рис. 50) и на берме карьера суффозионных воронок диаметром 3—10 м и глубиной 6—7 м. Суффозионные процессы здесь были вызваны колебанием уровней подземных вод и возникновением градиентов гидродинамического давления в связи с изменением режима работы водопонизительных скважин и земснарядов.

Прорывы подземных вод и плывунов известны во многих других карьерах. В Киеве в 1955 г. в Сырецкий карьер глубиной 82 м произошел грандиозный прорыв подземных вод (объемом 30 тыс. м³) из харьковского водоносного горизонта (на 100 м был отброшен экскаватор, карьер затопило водой). Причиной прорыва была инфильтрация воды из соседнего песчаного карьера (заполненного после ливней водой), расположенного в 360 м от Сырецкого карьера. Прорыв произошел, когда градиент напора в харьковском водоносном горизонте достиг критической величины [78].

Очень часто заброшенные карьеры затапливаются подземной и поверхностной водой и образуют озера (рис. 51). Такие типично антропогенные озера встречаются повсеместно. Некоторые из них используются в хозяйственных (рыбоводство) и спортивных целях. В районе г. Соль-Илецка Оренбургской области эксплуатировался карьер Развал для добычи соли. В 1906 г. в паводок р. Песчанка затопила карьер, в результате чего образовалось озеро Развал площадью 7 га и глубиной 20 м. Вода в озере сильно минерализована, насыщена ионами хлора, натрия, магния, кальция и железа, не замерзает зимой даже при температуре —40° С. На дне озера развита многолетняя мерзлота, оно мертвое, не содержит ни флоры, ни фауны. На берегах построены здравницы. Озеро Развал — уникальный объект находится под охраной государства.

Длительно существующие карьеры, особенно заброшенные, служат ареной развития оврагов, оползней, обвалов, осыпей, заболачивания, суффозии и других процессов и явлений. Многие карьеры превращаются в «язвы» города, служат очагами загрязнения подземных вод, вызывают деформации и разрушения близрасположенных зданий и сооружений. В системе дорожных выемок часто наблюдаются обвалы, осыпи, оползни, оплывины и солифлюкция.

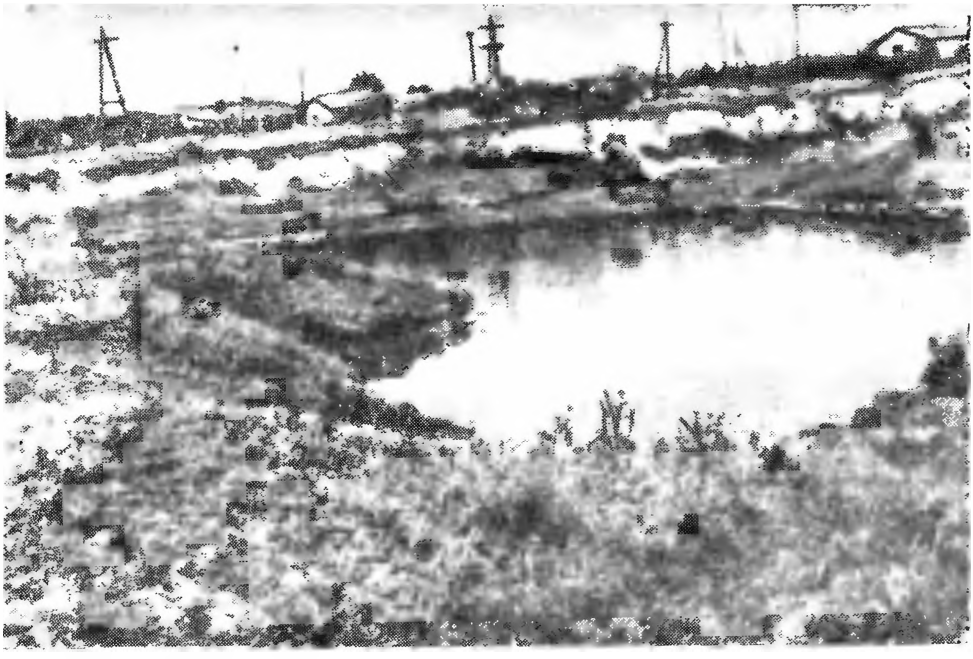


РИС. 51.
Озеро, образовавшееся в заброшенном карьере в г. Одессе

Эти процессы приобретают наиболее грозный характер в горных районах, где высота дорожных откосов достигает десятков и даже сотен метров (Кавказ, Крым, Киргизия, Таджикистан, Казахстан и др.). Нередко приходится применять искусственное закрепление откосов дорожных выемок различными способами.

В Киеве на бульваре Дружбы Народов дорожная выемка прорезала Черную гору, что послужило причиной образования оползней в бурых и пестрых глинах, которые неоднократно приостанавливали движение транспорта. Проводимые противооползневые мероприятия (уменьшение угла откоса, разгрузка верха склона, ступенчатое террасирование откоса, устройство подпорных стен) не давали положительных результатов, оползни продолжали возникать. Пришлось пойти на крайние меры — взорвать и убрать Черную гору.

Проблема оптимального размещения, устройства, эксплуатации и рекультивации горных выработок — одна из важных проблем охраны природы и улучшения окружающей среды.

Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды при проведении открытых горных работ предусматривают следующие задачи.

1. Максимальное сохранение природного ландшафта.

2. Рациональное землепользование. Сокращение площади карьеров, отвалов, хвостохранилищ за счет перестройки горного производства, что

достигается: а) заполнением отвалами выработанного пространства карьеров с таким расчетом, чтобы наверху оказались породы, благоприятные по химико-минеральному составу и свойствам для сельскохозяйственного, лесного, строительного и других видов освоения; б) улучшением технологии обогащения минерального сырья по возможности с заменой мокрого процесса сухим, что дает экономию в расходовании воды; в) уменьшение площади карьеров и отвалов путем допустимого увеличения генерального угла откоса, с сохранением при этом устойчивости откосов.

По данным ВНИМИ, занижение углов наклона бортов карьера на 2—3° при высоте борта в 300 м увеличивает объем вскрыши на 6—8 млн. м³ на 1 км протяженности борта. Необходимо повысить точность расчетов и снижать излишний коэффициент запаса. Увеличение крутизны откосов возможно путем применения технической мелиорации грунтов.

3. Комплексное использование всех видов полезных ископаемых горного объекта, включая вскрышные породы, которые все чаще стали использоваться в качестве строительных материалов.

4. Технология и режим горных работ должны исключать возможность возникновения нежелательных геологических процессов и явлений. Инженеры-геологи обязаны на основе детального изучения месторождения внести в проект соответствующие рекомендации. Необходимо рационально управлять откосами выемок с учетом факторов и условий, определяющих их устойчивость. М. А. Ревазов [124] на основе исследований Г. Л. Фисенко, В. Д. Ломтадзе, В. А. Мироненко, Н. Н. Маслова и других дает приближенную количественную оценку степени влияния на коэффициент запаса устойчивости бортов карьеров следующих основных факторов (в %): структура массива — 20; физико-механические свойства пород — 5—10 (за счет погрешности в определении расчетных показателей); гидрогеологические показатели — 10—15; наличие подрабатываемых подземных выработок — до 10 (фактор локального характера); сейсмичность района — 5. М. А. Ревазов справедливо отмечает, что в реальных условиях редко встречается совокупность влияния указанных факторов

5. Не допускать истощения ресурсов и загрязнения подземных вод, нарушения работы водозаборов. При необходимости разработку месторождений вести под защитой водонепроницаемых завес и экранов. Не исключено обратное возвращение откачиваемых вод в водоносные горизонты или их пополнение за счет других водоисточников (магазинирование и др.).

6. Проведение оптимальной рекультивации карьерных полей. Мероприятия по рекультивации должны иметь инженерно-геологическое обоснование. Недействующие карьеры следует использовать для хозяйственных нужд и благоустройства. В СССР накоплен большой опыт использования недействующих карьеров. Они могут быть приспособлены для устройства озер, прудов, стрельбищ, конных манежей, спортивных площадок, кинотеатров, детских площадок, скверов, садов, огородов, грибниц, гаражей и др. Работы по рекультивации земель должны предусматриваться в проектах освоения месторождений полезных ископаемых и иметь инженерно-геологическое обоснование.

Геологические процессы и явления, вызванные извлечением из недр земли нефти и газа

Промышленная добыча нефти из недр земли началась в XIX в. За 100 лет эксплуатации нефтяных месторождений мира до начала 1968 г. извлечено 27 млрд. т нефти и более 12,5 трлн. м³ газа. Вместе с нефтью извлекается около двух объемов подземных вод. Извлечение такого огромного объема флюидов не могло не отразиться на состоянии геологической среды.

В России эксплуатация нефтяных месторождений впервые началась на Кубани, где в 1866 г. А. Н. Новосильцевым была пробурена первая нефтяная скважина, которая дала нефть. Она располагалась на окраине с. Киевское в долине Кудако (ныне Краснодарский край). И. М. Губкин писал: «Долина реки Кудако является колыбелью нефтяной промышленности». Только через пять лет, в 1871 г. была пробурена первая скважина в Баку.

Д. И. Менделеев писал о первооткрывателе отечественной нефти: «Имя первого бурильщика Кубанского края А. Н. Новосильцева, надо думать, не забудется в России». В 1958 г. на месте первой буровой нефтяной скважины открыт памятник со следующей надписью: «Здесь 16 февраля 1866 года из скважины, проведенной А. Н. Новосильцевым, ударным способом с металлическими обсадными трубами, забил первый нефтяной фонтан в России».

Прошло более 100 лет, Советский Союз стал крупнейшей в мире нефтяной державой. В стране имеется более 1500 нефтяных и газовых месторождений. Изменилась география месторождений. Советскими геологами открыты новые залежи нефти и газа в Западной и Восточной Сибири, Средней Азии, Казахстане, Белоруссии, Прибалтике и др. Начинает осваиваться шельфовая зона морей и океанов. Общая площадь шельфовой зоны в СССР составляет 6 млн. км².

Нефть и газ добываются в 62 странах мира. 1/6 часть земной поверхности считается потенциально нефтеносной, но только 5% детально разведано и лишь 1% освоен промышленной добычей. Добыча нефти в мире растет в среднем на 8—10% в год. В 1938 г. добыча нефти составляла 250 млн. т, в 1950 г. — 500 млн. т, в 1960—1 млрд. т, в 1970 г. — 2,5 млрд. т. в том числе 80% на суше и 20% на шельфе. Наибольшая добыча производится в СССР, на Ближнем и Среднем Востоке, в США и Латинской Америке.

Продуктивных скважин в 1958 г. насчитывалось в мире 597 056, в 1964 г. — 654 812. Рост добычи нефти и газа в СССР характеризуется следующими данными:

	Нефть, млн. т	Газ, млрд. м³
1910 г.	10,3	0,02
1940 г.	31,1	3,4
1964 г.	223,6	110,2
1977 г.	546 *	346
1980 г. (план)	620—640 *	400—435

* Включая газовый конденсат

С развитием научно-технического прогресса увеличивается глубина добычи нефти и газа. Совсем недавно скважины глубиной 3—3,5 км были редкостью, а теперь стали массовым явлением. В Азербайджане бурятся скважины глубиной 5—10 км. В США

имеются скважины глубиной до 7—8 км.

В последние годы развернулась морская добыча нефти и газа. В СССР она давно уже ведется на Апшеронском полуострове. Вблизи Баку возник целый город в море «Нефтяные Камни» с пятиэтажными жилыми домами.

В настоящее время мировая добыча нефти на шельфе составляет 20%. В недалеком будущем добыча на суше и в море будет равна. Более 80 стран ведут геологопоисковые и разведочные работы на шельфе. Ежегодно бурится 8—10 тыс. скважин. В Азербайджане в море пробурена скважина на глубину 5 км. Морская добыча сопряжена с загрязнением нефтью морей и океанов, поэтому к технологии добычи и транспортировки предъявляются в международном масштабе дополнительные жесткие требования, учитывая, что уже 1/5 часть Мирового океана покрыта нефтяной пленкой.

В последние годы для повышения нефтеотдачи пластов применяются следующие способы нефтегазовой мелиорации: закачка в породы воды под давлением (внутриконтурное и законтурное заводнение), гидравлический разрыв пласта, гидропескоструйная перфорация пластов, тепловые воздействия, подземное горение, закачка поверхностно-активных веществ (ПАВ) типа мыл; обратная закачка попутных нефтяных вод, которые содержат ПАВ, и др. Применение мелиорации позволяет повысить производительность пласта на 10—12%, что равнозначно разработке новых месторождений с запасами в сотни миллионов тонн нефти. Объекты, разрабатываемые с поддержанием пластового давления, за семилетку дали больше половины всей добычи за тот же период. Количество недоиспользованной нефти при традиционных способах добычи оценивается в 6—7 млрд. т.

Применение перечисленных выше способов повышения дебита скважин усиливает антропогенные изменения в недрах земли. Извлечение в огромных объемах нефти, газа и попутных вод из недр земли вносит следующие изменения в геологическую среду.

1. Падение внутрипластовых напоров, изменение напряженного состояния пород в массиве.

2. Переформирование гидрогеологических условий: замещение выкачиваемой нефти водой, усиление водообмена, образование новых водоносных горизонтов, смешение вод; изменение уровней, уклона, скорости движения, химического, газового состава и температуры подземных вод.

3. Вторичное изменение режима подземных вод, а также фильтрационные деформации пород вплоть до гидравлического разрыва водоупорных слоев в связи с законтурным и внутриконтурным заводнением нефтяных месторождений и применением других способов мелиорации.

4. Механическая суффозия и связанные с ней просадки пород и провалы нефтяных вышек, образование суффозионных воронок диаметром 10—400 м и куполов выпирания в местах прорыва газов.

5. Антропогенные «гейзеры» — выбросы газа, воды, минеральных частиц в воздух.

6. Нефтяные пожары, иногда продолжающиеся годами и изменяющие окружающую среду, особенно микроклимат.

7. Поступление в атмосферу попутных газов и загрязнение ими атмосферы.

8. Дегазация пор

9. Местные и региональне осадки поверхности земли, достигающие 9 м. На морских побережьях опускание иногда сопровождается затоплением местности на суше, образованием озер, заболачиванием.

В результате указанных выше антропогенных процессов и явлений в нефтегазовых провинциях изменяются естественные физические поля: гравитационное, гидродинамическое, термическое, геохимическое и др. Ноогеосфера в районах добычи нефти и газа достигает наибольшей величины по вертикали (10—12 км).

Оседание земной поверхности — интегральное геологическое явление, синтезирующее другие эндолитогенные процессы, способствующие развитию осадок (падение внутрипластового давления, механическая суффозия и др.). Оседание, вызванное извлечением из недр флюидов, количественно и качественно отличается от оседания, происходящего при добыче твердых полезных ископаемых; оно проходит обычно очень плавно, охватывает бо́льшие площади, но имеет меньшую вертикальную амплитуду и поэтому мало заметно (фиксируется геодезическими измерениями, наблюдениями за осадкой зданий и сооружений).

Приведем несколько примеров из зарубежной и отечественной практики.

В США (штат Калифорния) в нефтегазоносном районе Лонг-Бич близ Лос-Анжелеса в связи с интенсивной откачкой нефти, газа и воды на побережье Тихого океана к концу 1952 г. оседание поверхности земли превысило 5 м. По более поздним данным, с 1928 по 1958 г. оседание достигло величины от 0,6 до 7.6 м на площади, имеющей эллиптическое очертание с осями 10 и 65 км.

В районе месторождения Лонг-Бич с 1937 по 1955 г. из продуктивных песчаников нижнего плиоцена и верхнего миоцена общей мощностью 300 м было добыто 148 млн. т нефти; опускание местности за тот же период достигло 6,6 м. Наивысший темп добычи на этой структуре был достигнут в 1945—1946 гг., скорость оседания в центральной части мульды превысила 30 см, в отдельных пунктах достигала 75 см в год. Темп добычи коррелируется с темпом оседания. Первоначальное давление в некоторых эксплуатируемых зонах превышало 1,5 МПа, в результате добычи нефти в ряде районов давление снизилось до 1,5—2 МПа.

Территория, примыкающая к морскому берегу, вследствие ее опускания во время приливов на отдельных участках затапливается. В связи с тем что эта часть площади занята ценными сооружениями (до 2500 нефтяных скважин, дороги, трубопроводы, промышленные предприятия, портовые сооружения, здания и пр.), возникла проблема защиты ее и сооружений от последствий опускания.

В качестве защитных мероприятий местными специалистами рекомендуется: а) нагнетание морской воды в породы для восстановления пластового давления; б) устройство заградительных дамб, вертикальная планировка территории путем устройства насыпи и другие мероприятия для защиты местности от затопления во время высоких приливов.

По новейшим данным, опускание суши здесь достигло 9 м. Предпринятая закачка воды повысила нефтеотдачу пластов, добычу нефти и замедлила опускание. Более того, на отдельных участках опускание сменилось поднятием на величину от 6

до 15% от предыдущего опускания [181].

Оседание поверхности земли на площади Саур Лейк в Техасе превысило 12 м [42]. В Венесуэле у оз. Маракайбо на нефтяном месторождении оседание поверхности земли только за период 1926—1954 гг. составило 3,3 м. Опускание вызвало затопление суши [88].

В районах Хьюстона, Посадены, Бейтауна и Беллэра (штат Техас) откачки нефти, газа и воды вызвали к 1962 г. оседание на площади почти 180 тыс. га, составившее 30 см, максимальная осадка превысила 90 см [88].

В Японии в районе г. Ниигата, расположенного на западном побережье о. Хонсю, на месторождении природного газа наблюдается опускание поверхности земли. Здесь при добыче метана одновременно извлекается значительное количество напорных подземных вод, в которых растворен природный газ. В результате откачек к 1958 г на некоторых участках месторождения наблюдалось оседание поверхности земли до 50 см в год. Благодаря принятым мерам (закачка воды в продуктивный пласт) скорость оседания снизилась до 25 см в год.

В Японии в префектуре Тиба на месторождениях природного газа на северном и восточном побережье Токийского залива и на побережье залива Кудзюкурихама между городами Теси и Каппдра природный газ эксплуатируют 1065 газовых скважин, из которых ежедневно в 1972 г. откачивалось более 258 тыс. м³ подземных вод. Только за один год (с 1972 -1973 гг.) оседание составило от 5 до 20 см и более. За последние 65—70 лет общее оседание в прибрежных частях префектуры Тиба составило около 2 м. Возникла угроза затопления низкого побережья. В качестве защитных мероприятий намечено к 1976 г. прекратить добычу газа в районе г. Тиба, на побережье Кудзюкурихама из 993 скважин эксплуатировать 525, построить водоотводные каналы, поднять и укрепить пониженные участки берега, построить насосные станции для откачки воды, усилить контроль за эксплуатацией газовых месторождений.

В Италии в дельте р. По происходит опускание местности на площади около 73 тыс. га. Дельта реки представляет собой тектоническую впадину, выполненную аллювием. До глубины 600 м здесь переслаиваются пески, гравий, галечники и глины с прослоями торфа.

Опускание дельты местные специалисты связывают с добычей метана и откачками подземных вод. Метан добывается из 900 скважин в количестве 190 млн. м³ в год. При этом извлекается из недр земли большое количество сопутствующих подземных вод, в результате чего происходит понижение пьезометрического уровня. Оседание местности происходит с различной скоростью — от 1 до 30 см в год. Максимальное оседание поверхности земли наблюдается на левобережье р. По ниже Контарины, где, по-видимому, расположен центр опускания [169].

В районе Полезине вследствие извлечения метана и сопутствующих подземных вод отмечено сравнительно медленное оседание, однако оно происходит с различной скоростью. Только за семь лет наблюдений установлена осадка поверхности земли более чем на 25 см на площади 51 тыс. га. Часть территории по отметкам уже находится ниже уровня моря и не затоплена водо

ТАБЛИЦА 14

ОСЕДАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ НА НЕФТЕПРОМЫСЛАХ АПШЕРОНСКОГО ПОЛУОСТРОВА ЗА ПЕРИОД 1912—1928 гг. ПО ДАННЫМ ПОВТОРНОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

Нефтепромыслы	Оседание, мм			Скорость оседания, мм/год			Число реперов
	от	до	среднее	от	до	среднее	
Сабунчи	125	307	195	7,8	19,1	12,1	7
Раманы	77	630	263	4,8	39,3	16,4	9
Сураханы	615	763	689	38,4	47,6	43,0	2
Кара-Чухур	264	370	328	16,5	23,1	20,5	4
Биби-Эйбат	142	263	215	8,8	16,4	13,4	3

лишь благодаря подсыпкам и устройству заградительных дамб [24].

Повторное нивелирование подтверждает оседание поверхности земли некоторых нефтяных районов СССР. Так, на нефтяных месторождениях Апшеронского полуострова зафиксировано опускание, характеризующееся данными табл. 14.

Д. А. Лиллиенберг на основе анализа карты вертикальных движений Апшеронского полуострова (1912—1962 гг.) выделил зоны поднятия со скоростью более нуля в крайней западной части и зону опускания со скоростью от 0 до 30 мм/год, охватывающую почти весь полуостров.

Группа специалистов ПНИИИС, сопоставив результаты геодезических съемок 1910—1963 гг. и материалы других нивелировок на территории Баку, составила в 1970 г. схематическую карту районирования территории города по величине вертикальных смещений земной поверхности в масштабе 1 : 25 000, выделив зоны опусканий и поднятий. Один из реперов в Сураханах за 53 года (1910—1963 гг.) осел на 1,8 м. Исследования ПНИИИС и Института стройматериалов им. Дадашева АзССР подтвердили дифференцированную направленность вертикальных движений земной поверхности.

По данным В. Г. Рихтера, карта изолинии осадок Апшеронского полуострова показала совпадение опускания с контурами эксплуатируемых площадей. В указанных нефтеносных районах нефть добывается с 1821 г., причем вначале она выкачивалась преимущественно из свит верхнего отдела продуктивной толщи плиоцена. Уже в конце XIX в. здесь отмечались оседания поверхности земли, а также провалы и разрушения нефтяных вышек, описанные Я. Шегреном в 1885 г. [161]. Вместе с нефтью, газом и водой иногда происходят выбросы песка, т. е. явления механической суффозии, которые особенно интенсивно проявляются при высоконапорном фонтанировании нефтяных скважин. Суффозия достигает больших размеров. По подсчетам Я. Шегрена, вынос песка из одной скважины Балаханского промысла за полгода составил 15 540 м³, из другой сква-

жины вместе с нефтяным фонтаном только за одни сутки было выброшено 3800 м³ песка. В результате суффозии происходит разуплотнение песчаных толщ.

В настоящее время добыча нефти в Азербайджане производится с применением законтурного и внутриконтурного заводнения. По данным Т. У. Багирова, в районе г. Алибайрамлы под влиянием законтурного заводнения нефтеносных пластов вода по тектоническим трещинам под напором поднималась вверх, под основание отложений грязевых вулканов, вследствие чего они приобрели текучепластичное состояние. Это вызвало деформации и вывело из строя трехэтажное здание.

Добыча нефти и газа в районе Среднего Приобья производится с искусственным поддержанием пластового давления в нефтяных пластах, залегающих на глубине 2—3 км. В пласты здесь закачивается не пресная поверхностная вода, а подземная вода из мощного апт-сеноманского водоносного горизонта, обладающая высокой нефтевымывающей способностью по сравнению с водами рек и озер.

Предусматривается закачка огромных объемов подземных вод, превышающих в 1,8 раза объемы выкачиваемой нефти [42]. Такая технология эксплуатации нефтяных месторождений уменьшит оседание поверхности земли, поскольку будет препятствовать снижению внутрипластового давления. Но возникает другая проблема, связанная с оседанием поверхности земли под влиянием мощных откачек подземных вод из апт-сеноманского горизонта. Он сложен толщей переслаивающихся глин, алевролитов и песчаников общностью до 960 м, залегает на глубине от 650 до 1760 м. При разработке добычи нефти будут закачиваться миллиарды кубических метров вод. Только на месторождениях Сургутского и Нижневартовского районов для этих целей намечается извлечь около 2 млрд. м³ подземных вод.

Как будет реагировать природная геологическая среда на эксплуатацию нефтегазовых месторождений Западной Сибири? Каковы возможные нежелательные последствия? Эти вопросы еще в 1969 г. были поставлены тюменским отделом ПНИИИС Госстроя СССР [42]. Основания для беспокойства имеются: об этом свидетельствует опыт эксплуатации зарубежных месторождений. Точных расчетов пока нет из-за отсутствия некоторых данных для моделирования и прогнозов.

Ю. Ф. Захаров и другие исследователи на основе предварительных данных считают, что оседание будет региональным по всей площади нефтегазового региона и может достигнуть нескольких метров. Если подтвердится, то следует ожидать таких отрицательных последствий, как подтопление, заболачивание территории, рост заозерности и т. д., учитывая, что грунтовые воды здесь залегают близко к поверхности земли, чаще на глубине 0,3—1,5 м. Это весьма осложнит строительное и хозяйственное освоение новой перспективной площади, где и без того значительные трудные природные условия.

Уже наблюдаются первые признаки изменений геологической среды. На Западно-Сургутском нефтяном месторождении режимными наблюдениями установлено появление депрессионной воронки в водоносном горизонте. На участке водозабора падение напора через [illegible] год [illegible] чет воды [illegible] составил [illegible]

ной скважине на расстоянии 15 км — 4 м [42]. Прогнозируется, кроме того, суффозионный вынос минеральных частиц в процессе откачек.

Необходимо срочное изучение данной проблемы, имеющей большое государственное значение. По-видимому, потребуется лабораторное и натурное моделирование (в производственных условиях) всех ожидаемых процессов, тщательное изучение состава и свойств нефтегазоносных и водовмещающих пород всего геологического разреза на глубину до 2—3 км; устройство геодезических и гидрогеологических полигонов со стационарными многолетними наблюдениями за режимом добычи, откачек, уровней подземных вод и кинетики вертикальных движений земной поверхности. Нужен точный научно обоснованный количественный и качественный прогноз изменений окружающей среды под влиянием добычи нефти, газа и откачек подземных вод из апт-сеноманского мелового водоносного горизонта. Необходима разработка конкретной программы природозащитных мероприятий, инженерной подготовки территории, предусматривающей осушение территории, строительство судоходных каналов, мелиорацию грунтов оснований нефтегазопромысловых сооружений, промышленных предприятий, дорог, трубопроводов, аэродромов и благоустройство поселков и городов.

Действующие в настоящее время подземные хранилища газа с объемом активного газа около 9 млрд. м³ недостаточны. В решениях XXV съезда КПСС намечено создание крупных подземных емкостей для хранения резервных запасов газа на зимний период. Предполагается расширение и создание новых подземных хранилищ в районах Москвы, Ленинграда, на Украине, в Прибалтике и Закавказье. По данным А. В. Сидоренко, в США за последние годы сооружено более 500 подземных хранилищ нефти и сжиженного газа емкостью более 14 млн. м³.

Стоимость создания подземных хранилищ в 26 раз ниже по сравнению с наземными, эксплуатационные расходы меньше в 10 раз.

При эксплуатации нефтегазовых месторождений иногда проявляются и другие нежелательные явления, например, пожары — длительное горение на выходах нефти и газа. В ряде зарубежных стран нефтяные пожары длились годами. В 1930 г. нефтяной пожар на майкопских нефтепромыслах был погашен через несколько месяцев. Длительные пожары изменяют прилегающую среду, создают азональный микроклимат, повышают температуру воздуха (в зимнее время начинают цвести растения).

В 1959 г. в с. Урицком Саратовской области произошел газовый выброс песка из мезозойских песчаных образований, в результате чего образовался песчаный конус выноса диаметром около 1 км и высотой до 8 м.

На Северном Кавказе в результате выхода напорного газа по затрубному пространству и диффузии по простиранию верхних пластов горных пород наблюдались вздутия рельефа, образование бугристого микрорельефа. В Западной Украине в районе одного газового месторождения в результате механической суффозии и выброса песка образовалась воронка диаметром 350—400 м, которая после заполнения водой превратилась в озеро.

На крупных нефтяных и газовых промыслах целесообразно организовать эксплуатационную службу для

осуществления стационарных геодезических, гидрогеологических и инженерно-геологических наблюдений. Необходимо расширить научные исследования по прогнозированию изменения природной геологической среды и развития антропогенных геологических процессов под влиянием добычи нефти и газа.

Литогенетические процессы и явления (антропогенный литогенез)

Антропогенный литогенез представляет собой геологический процесс образования наиболее молодых в геологической истории Земли отложений, связанных с хозяйственной деятельностью человека. Это процесс нового породообразования и переработки человеком пород земной коры — яркий пример изменения геологической среды.

Антропогенные литогенетические процессы получили настолько широкое распространение, что стали сопоставимы с естественными литогенетическими процессами и превзошли многие из них. Скорость накопления антропогенных отложений превысила скорости естественного осадкообразования на планете.

В процессе антропогенного литогенеза формируется новый тип современных отложений, которые в литературе именуются по-разному: искусственные, техногенные, антропогенные, насыпные и др. Автор называет их антропогенными, полагая, что этот термин удачно отражает их генезис и достаточно полно охватывает все разнообразие данных отложений, формирующихся в связи с различными видами человеческой деятельности.

Антропогенные отложения образуются во всех местах обитания и жизнедеятельности человека и получили планетарное распространение (встречаются на 55% площади Земли).

Антропогенный литогенез начался с появлением человека на Земле. Он развивался в несколько этапов в неразрывной связи с ростом населения, трудовой деятельности человека, его материальной культуры, техники и производства.

Возраст культурных слоев варьирует от нескольких дней до нескольких миллионов лет. В антропогенном литогенезе выделяются три стадии: 1) разрушение и изменение пород, 2) перемещение пород и 3) новое породообразование.

Средой антропогенного литогенеза служат суша и водоемы, в связи с чем выделяется континентальный и аквальный литогенез. Антропогенный литогенез и природная среда взаимосвязаны.

Антропогенный литогенез бывает стихийным и целенаправленным. По условиям образования автор подразделяет этот процесс на субаэральный (поверхностный), субтерральный (подземный) и аквальный (водный).

На протяжении всей истории человечества воздействие на окружающую природную среду возрастало, развивалось вширь и вглубь. На современном этапе научно-технической революции эти воздействия на геологическую среду достигли небывалых грандиозных (планетарных) масштабов, что, в свою очередь, в сильной степени усилило и антропогенный литогенез.

Антропогенный литогенез — многогранный и многофакторный процесс, связанный с разнообразными видами жизнедеятельности человека

ТАБЛИЦА 15

ОБРАЗОВАНИЕ ОТВАЛОВ ИСКУССТВЕННЫХ ГРУНТОВ НА ЗЕМНОМ ШАРЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА, млрд. м³ (по М. И. Хазанову)

Полезные ископаемые	Отвалы пород			Отвалы производственных отходов (шлаки, золы и др.)			Всего
	До 1962 г.	1963—1980 гг.	Сумма	До 1962 г.	1963—1980 гг.	Сумма	
Рудные	704	506	1210	4	3,9	7,9	1217,9
Нерудные	32	58	90	—	—	—	90
Топливо	125	153	278	5,8	6,4	12,2	290,2
Итого	861	717	1578	9,8	10,3	20,1	1598

(добыча полезных ископаемых, строительство, промышленное производство, селитьба (городские и сельские поселения), водное и сельское хозяйство и др.). Виды деятельности человека в какой-то степени профилируют антропогенный литогенез [72, 75].

В связи с развитием горного дела, индустриализации, урбанизации, ростом крупных промышленно-городских агломераций усилился процесс накопления антропогенных образований. Ежегодно из недр земли извлекаются огромные массы грунтов (до 6 км³), которые перераспределяются на поверхности земли. За 500 лет человечество извлекло из недр не менее 50 млрд. т углерода и 2 млрд. т железа. Ежегодно накапливаются миллиарды тонн различных промышленных, хозяйственных и бытовых отходов (бытовых отходов в городах и селах ежегодно накапливается более 0,5 млрд. м³). Только одного шлака за последнее десятилетие скопилось около 20 млрд. т. Ежегодно в мире на сельскохозяйственных полях перерабатывается более 6 тыс. км³ почвы. За истекшие 150 лет при производстве горнотехнических работ извлечено из недр, по неполным данным, более 1520 км³ грунта.

Накопление антропогенных образований усиливается некоторыми стихийными бедствиями (землетрясения, наводнения, пожары и др.) и войнами, которые разрушают постройки и сооружения. Остатки разрушенных городов и поселений,

ТАБЛИЦА 16

ОБРАЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ГРУНТОВ НА ЗЕМНОМ ШАРЕ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬСТВА, км³ (по М. И. Хазанову)

Строительные объекты	До 1962 г.	1963—1980 гг.
Города	34,6 *	16,6 **
Деревни	51,7 *	18,0 **
Железные дороги	28,2	
Метрополитен	0,99	0,3
Трубопроводы	4,14	10,9
Автомобильные дороги	210,0	6,0
Каналы	1,98	0,2
Гидростанции	16,2	20
Линии связи	6,4	12,8
Дноуглубительные работы	68,8	115

* До 1964 г
** 1964—1980 гг.

РИС. 52.
Общий вид улицы Поволинки, Варшава (по Р. Леггету):
а — в 1945 г. после разрушения города; *б* — в 1962 г. та же часть города после восстановления

захороняются на суше и в водоемах.

В СССР во время второй мировой войны было разрушено 1900 городов и рабочих поселков, а в мировом масштабе — многие тысячи городов (рис. 52, *а*, *б*). Во время землетрясения в Ташкенте в 1966 г. остатки разрушенных домов свозились в овраги, карьеры и другие выемки, что создало своеобразный культурный слой.

О грандиозной геологической работе человека по разрушению пород и породообразованию дают расчеты, выполненные М.И. Хазановым [157]. Данные этого автора о количестве искусственных грунтов, образовавшихся при осуществлении различных видов человеческой деятельности, приведены в табл. 15, 16. Методика расчетов пояснена в работе [157].

Следует отметить, что она недостаточно совершенна, подсчеты затруднены из-за отсутствия необходимых данных, поэтому они весьма ориентировочны и показывают лишь масштабность породообразующей деятельности человека. При всей условности эти цифры свидетельствуют о том, что геологическая породообразующая деятельность человека превосходит многие естественные литогенные процессы, в частности, вынос с суши твердых осадков в моря и океаны, составляющий 15 км^3 в год. Масштабы антропогенной денудации колоссальны.

Антропогенные отложения формируются во всех местах обитания человека: первое место по распро-

странению и объему занимают субаэральные, второе — субаквальные и последнее — субтерральные отложения.

Наибольшее развитие антрополитогенез получил в индустриально развитых странах (Европа, Северная Америка, Япония и др.), наименьшее — в аграрных странах. Широкое распространение характерно для урбанизированных агломераций, крупных, средних и особенно для древних городов, промышленных горнодобывающих комплексов. В наименьшей степени этот процесс распространен в сельских поселениях и небольших городах. По характеру распространения выделяются: региональные, крупноплощадные, местные, очаговые, линейные, и точечные отложения.

М. И. Хазановым [157] сделана первая попытка показать на схематических картах сугубо ориентировочно распространение, интенсивность образования искусственных грунтов на территории СССР (рис. 53) и изобразить среднегодовое образование искусственных грунтов в количественной форме по состоянию на 1970 г. (рис. 54). Автор схем отмечает, что они условны и не могут рассматриваться в качестве материала, отражающего фактические контуры площадей распространения грунтов [157]. Несмотря на их условность, схемы дают общее представление о распространении и интенсивности образования антропогенных отложений и подчеркивают их регионально-глобальный характер.

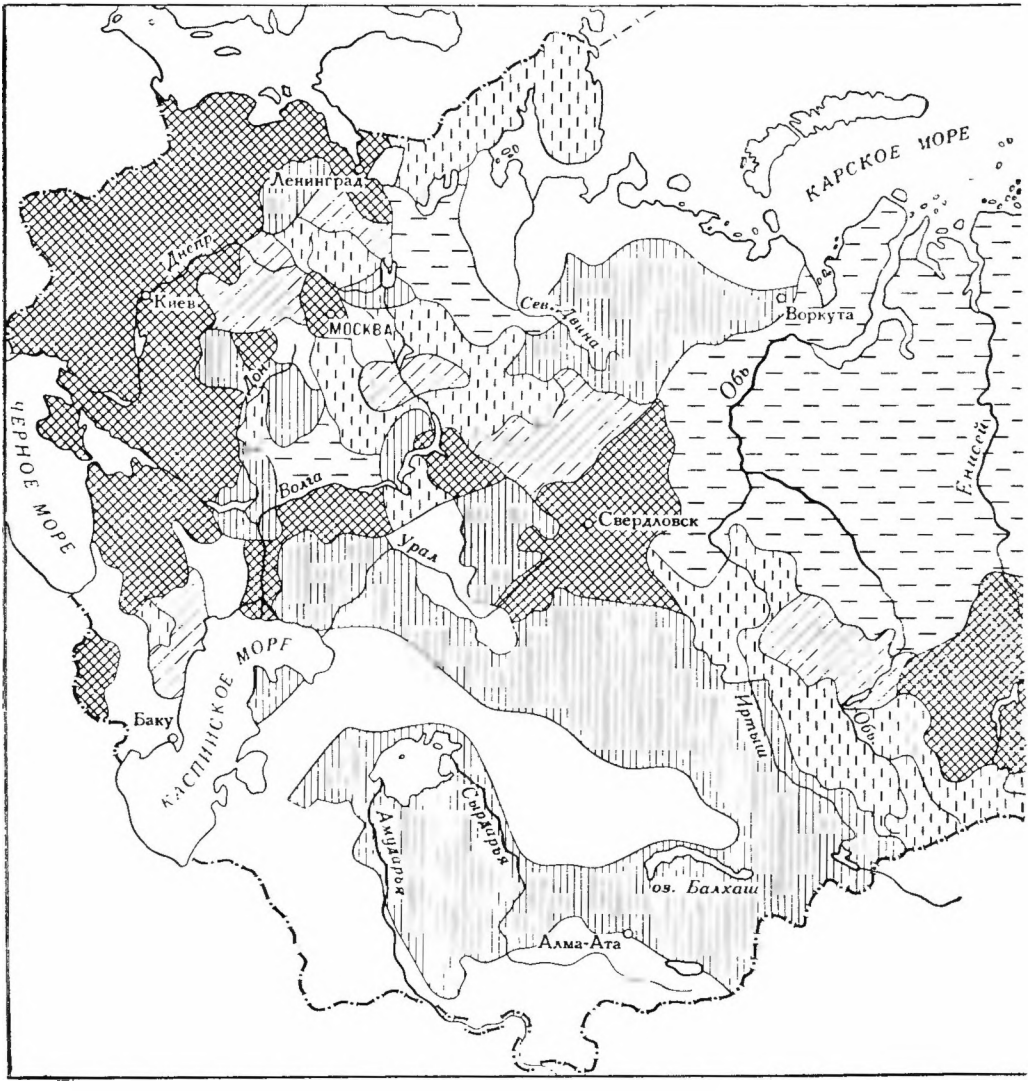
На рис. 55 приведена разработанная автором инженерно-геологическая классификация антропогенных отложений, которая в основе своей является генетической (рис. 55). Классификация имеет четыре таксона: группы, генетические комплек-

сы, классы и виды. По условиям образования выделено три группы отложений: субаэральные (наземные), субаквальные (подводные) и субтеррральные (подземные). Генетических комплексов семь: 1) насыпные, 2) намывные, 3) отложения искусственных водоемов, 4) искусственные подводные грунты, 5) измененные водные

РИС. 53.

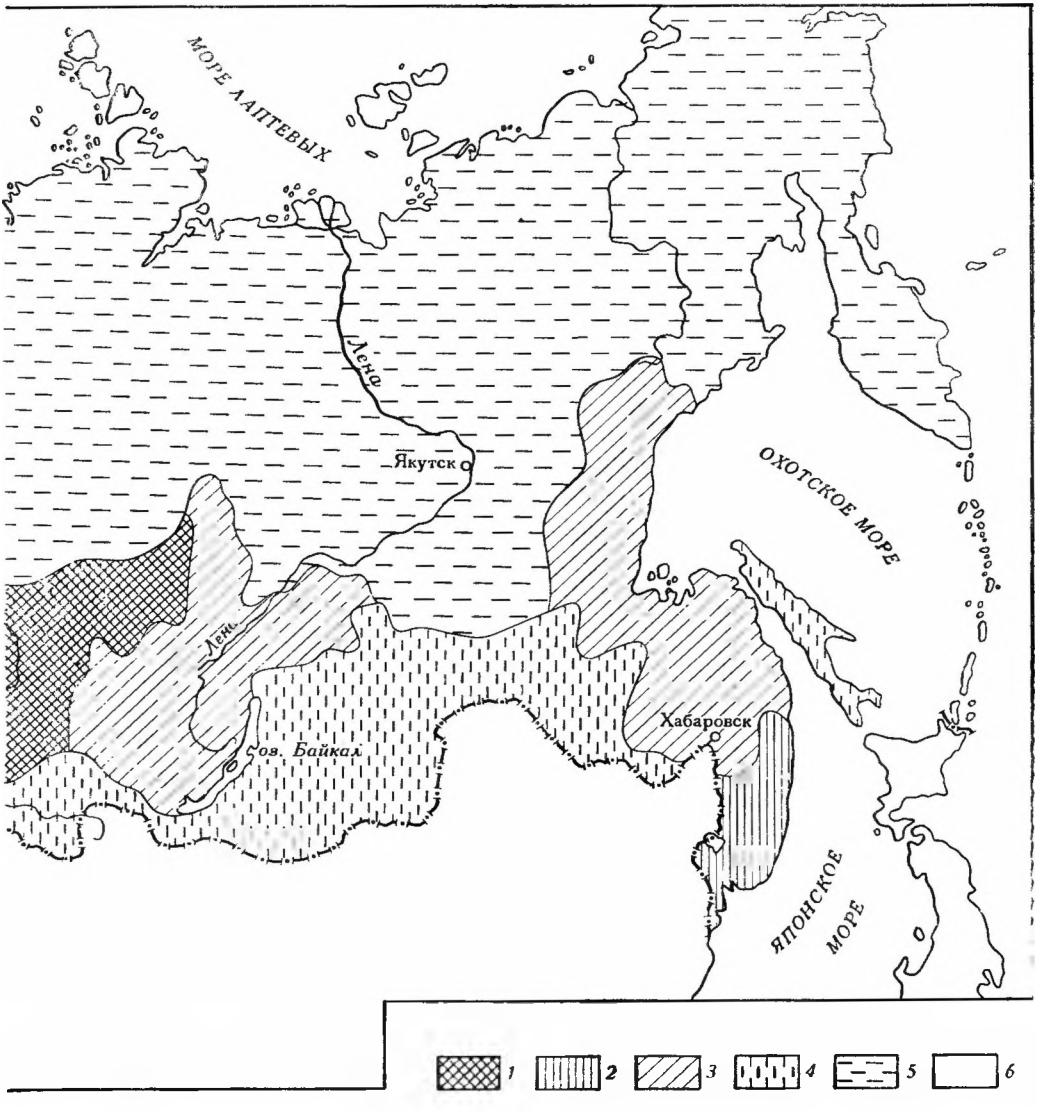
Сравнительная интенсивность образования искусственных грунтов на территории СССР (по М. И. Хазанову).

1 **— очень высокая;** ***2*** **— высокая;** ***3*** **— средняя;** ***4*** **— низкая;** ***5*** **— очень низкая;** ***6*** **— прирост искусственных грунтов не отмечается**



осадки естественных водоемов, 6) породы, искусственно преобразованные в естественном залегании, 7) привнесенные в породы материалы и конструкции и стихийное накопление подземного культурного слоя.

По более детальным генетическим критериям в составе семи комплексов выделен 21 класс антропогенных отложений. Так, в комплексе насыпных грунтов выделены классы: строительных, горных, промышленных и хозяйственно-бытовых отложений. В составе некоторых классов выделены виды отложений. Полностью классификация здесь не приводится, она опубликована в работе автора [76].



Для всех выделенных таксономических подразделений в классификационной таблице указаны способы образования, состав, интегральный балл однородности, инженерно-геологические особенности и дана оценка антропогенных отложений (интегральный балл прочности). Данная классификация развивает генетиче-

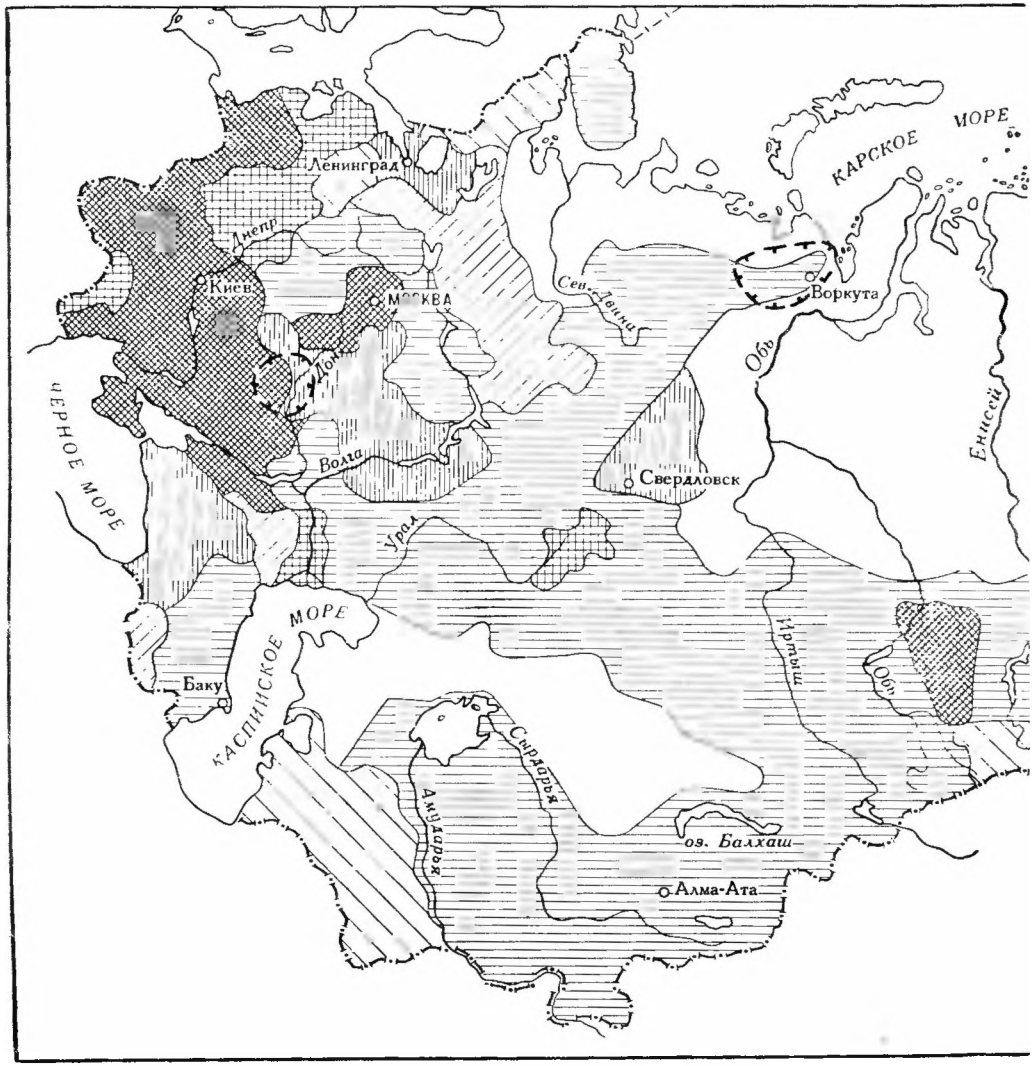


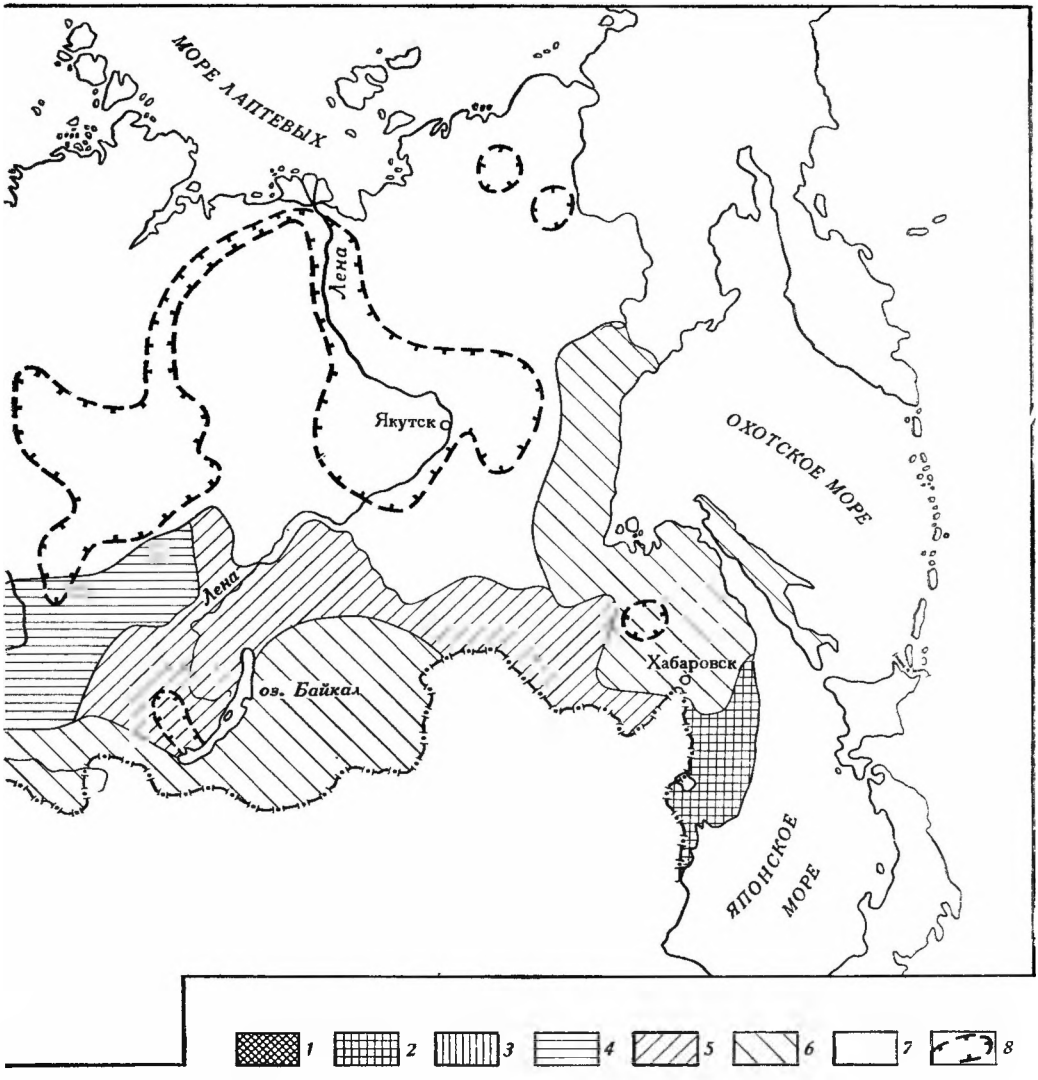
РИС. 54.

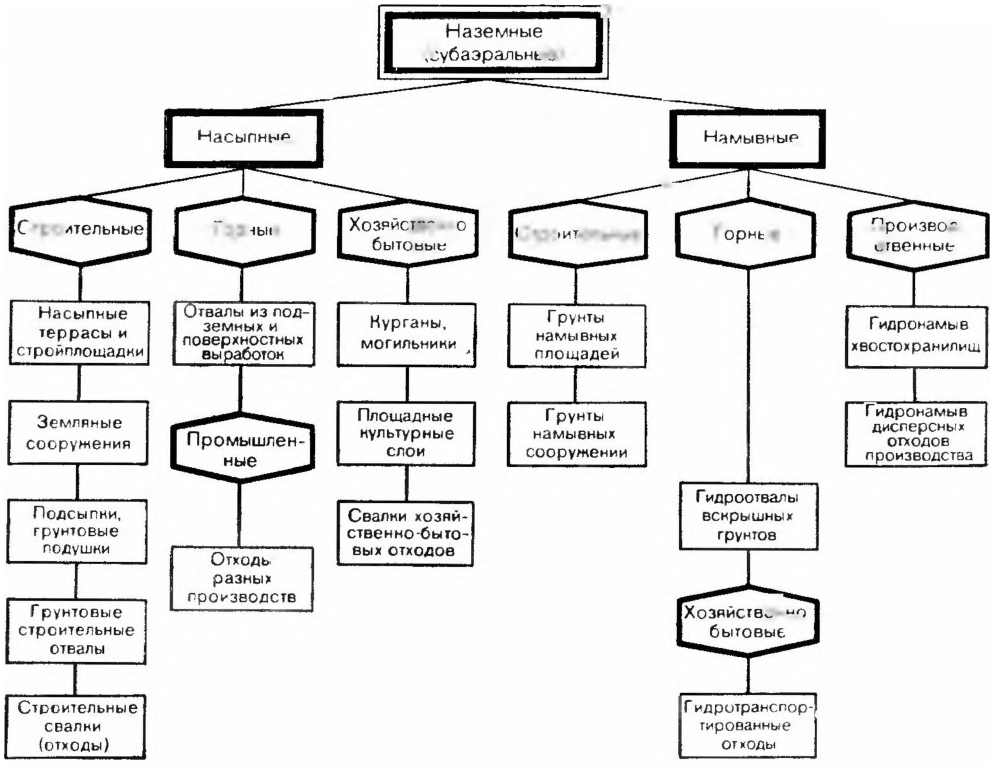
Интенсивность образования искусственных грунтов на территории СССР (по М. И. Хазанову).

1 — более 1000 м³/км²; *2* — 500—1000 м³/км²; *3* — 250—500 м³/км²; *4* — 100—250 м³/км²; *5* — 50—100 м³/км²; *6* — 10—50 м³/км²; *7* — 0—10 м³/км²; *8* — границы некоторых районов предполагаемого массового образования искусственных грунтов

скую классификацию автора 1963 г. [64].

Мощность антропогенных отложений изменяется в широких пределах — от нуля до сотен метров. В засыпанных глубоких шахтах мощность достигает 1000 м, в терриконах мощность насыпных грунтов достигает: в Англии в Уэльсе — 300 м. в США в штате Флорида — 100 м, в Аппалачах — 120 м, в СССР в Донбассе — 80—100 м, Кузбассе 10—80 м, Караганде 10—50 м. Мощность крупных грунтовых отвалов при добыче полезных ископаемых (карьеры) достигает 100—150 м, чаще 10—30 м, в хвостохранилищах — до 30—50 м. мощность намывных

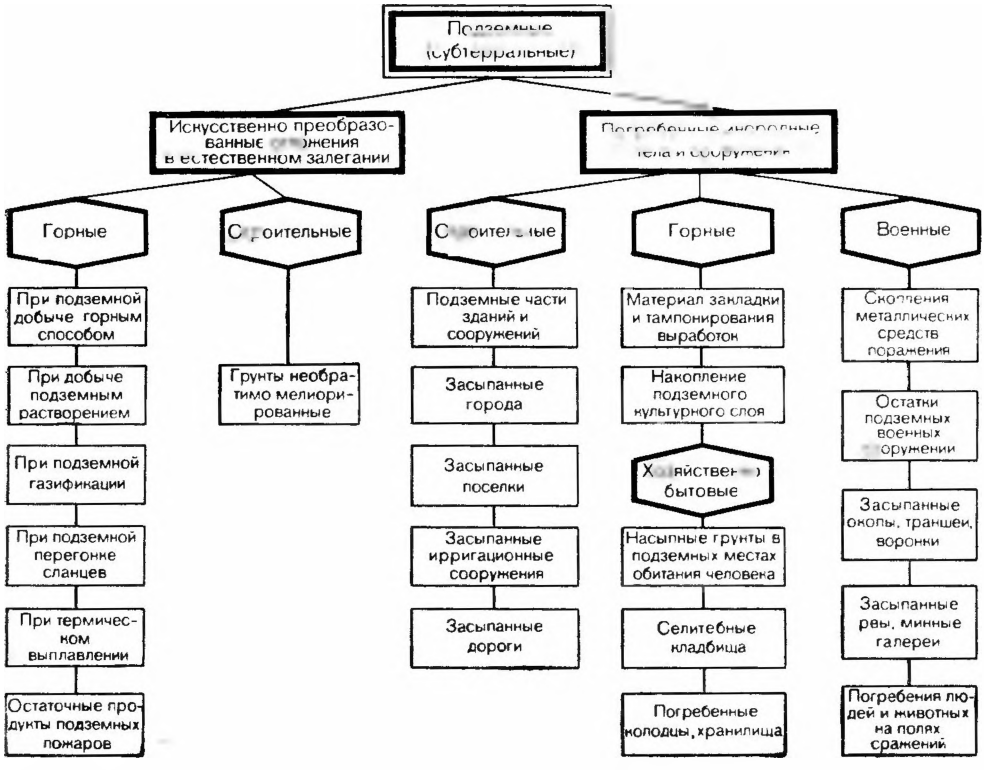




грунтов — до 50 м, чаще 2—8 м Отходы горнорудного производства, сложенные «бедными» рудами и пустыми породами, при модернизации технологии добычи, обогащения и переработки полезных ископаемых станут антропогенными месторождениями минерального сырья и в перспективе расширят базу минеральных ресурсов.

Максимальная мощность культурного слоя на городских территориях также весьма значительная (в м): в Одессе — 44, Киеве — 44, Перми — 40, Баку — 40. Таганроге — 25. Ростове-на-Дону — 25, Москве — 24, Воронеже — 20. Ташкенте — 18, Харькове — 18, Волгограде — 17, Новгороде — 14. Саратове — 12. Ленинграде — 10, Лондоне — 25, Сан-Франциско — 23, Париже — 20, Гданьске — 18 и т. д. Максимальная мощность в городах приурочена преимущественно к засыпанным долинам рек, ручьев, оврагам, балкам, болотам, прудам, карьерам и к обжитым районам.

В обжитых районах крупных и древних городах культурный слой залегает сплошным покровом мощностью 2—8 м, на окраинах встречается в виде линз мощностью 0,5—2 м. В небольших и молодых городах и сельских поселениях антропогенные отложения находятся в первоначальной стадии формирования



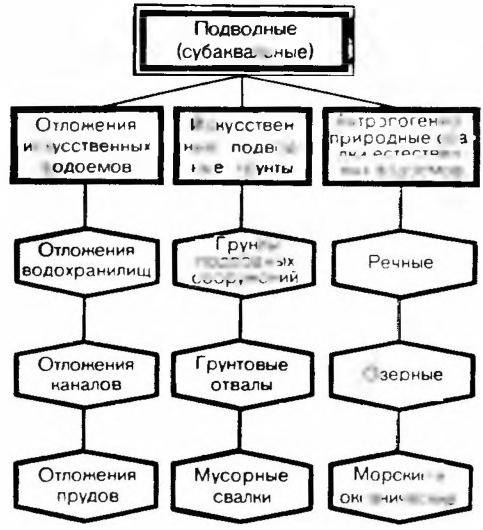
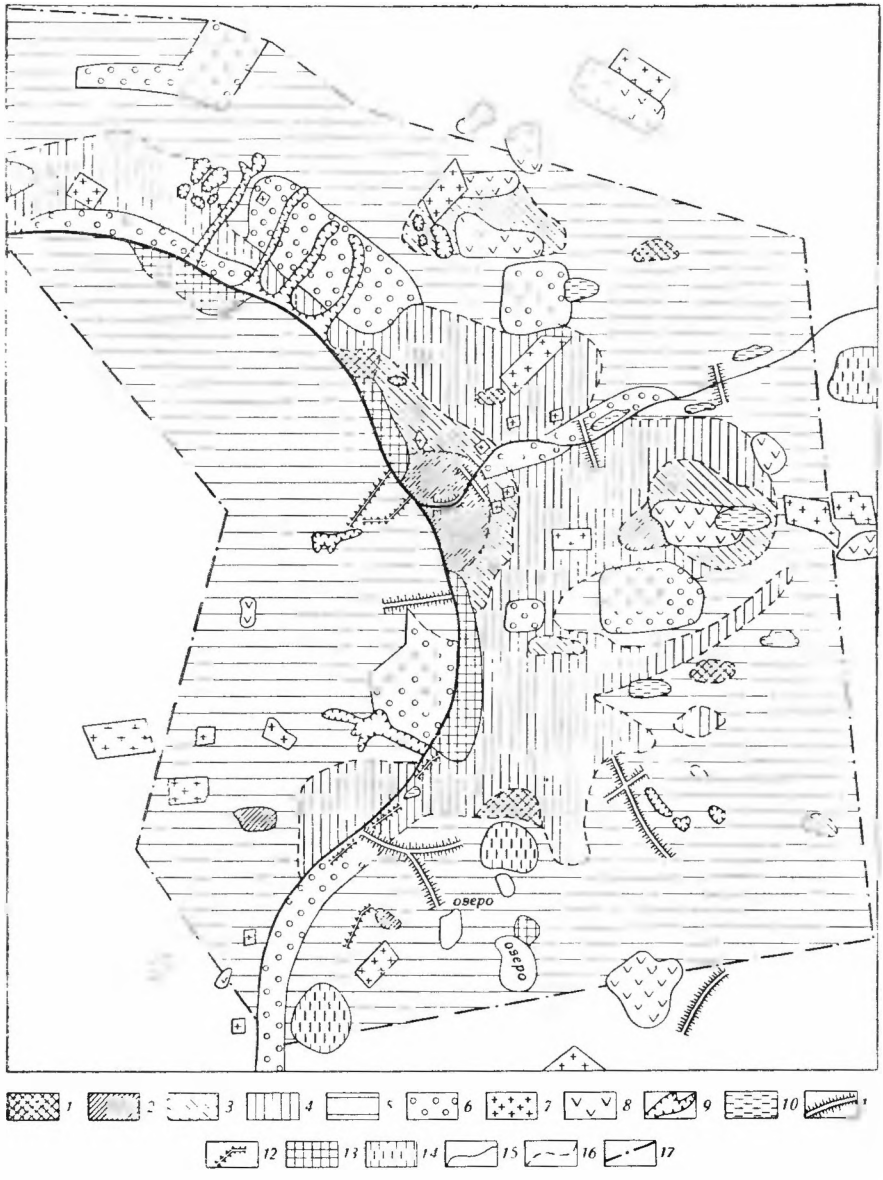


РИС. 55.
Классификация антропогенных отложений

РИС. 56.

Схема распространения искусственных грунтов в г. Омске (по Н. И. Барац).

Грунты культурного слоя. Грунты перепланировки: *1* — мощность более 4 м, *2* — мощность 3—4 м, *3* — мощность 2—3 м, *4* — мощность 1—2 м, *5* — мощность 0—1 м; *6* — грунты садов и парков; *7* — грунты кладбищ, мощность 1,5—2,5 м; *8* — отложения свалок, мощность 1—4 м; насыпные грунты: *9* — засыпанные овраги, балки, карьеры, *10* — засыпанные болота. Насыпные грунты инженерных сооружений: *11* — насыпи дорог, *12* — насыпи дамб. Намывные грунты: *13* — массивы намывных песков, мощность 1—9 м; *14* — золоотвалы. *15* — границы между различными генетическими типами грунтов; *16* — границы мощностей; *17* — границы города



и не имеют сплошного покрова, мощность их незначительна.

Для ряда городов составлены карты антропогенных отложений. Ввиду пестроты в условиях образования, залегания, мощностей и состава этих грунтов картирование их весьма затруднено. В качестве примера на рис. 56 приводится схема распространения искусственных грунтов в Омске, составленная Н. И. Барац.

Состав антропогенных отложений весьма разнообразен, в них содержатся все элементы таблицы Менделеева. По пестроте состава антропогенные отложения значительно превосходят естественные породы, что связано с созданием человеком новых изотопов, элементов, соединений, минералов, пород, почв, различных материалов. По данным А. П. Виноградова, с отходами в окружающую среду сбрасывается около 600 тыс. разнообразных химических веществ [18].

Однако укрупненно в составе антропогенных отложений можно выделить три группы фаций: а) грунтовые, б) искусственно созданные и в) отходы жизнедеятельности человека. Наиболее однородные первые две группы фаций.

К использованию антропогенных отложений в строительных целях следует подходить с большой осторожностью. Антропогенные отложения за небольшим исключением следует отнести к наиболее сложным, пестрым и мало благоприятным для строительных целей геологическим образованиям, требующим дифференцированного подхода, детальных и специальных исследований. Среди них встречаются отложения с высокими и очень низкими прочностными свойствами. Особенно неблагоприятны пестрота состава, текстуры, мощность, состояние, физико-механические свойства, наличие пустот, нестойких органических агрессивных и токсических газо-взрыво-огнеопасных составляющих. Наиболее отрицательными свойствами обладают отложения свалочного характера.

Использование антропогенных отложений в строительных целях известно издавна. В античное время многие сооружения строились на насыпных грунтах.

В современном строительстве антропогенные отложения все шире используются в качестве оснований, среды и материала сооружений. В Москве на антропогенных грунтах построены сотни зданий и сооружений. Особенно широко в ряде городов нашей страны и за рубежом стали использоваться намывные грунты, на которых возведены целые микрорайоны, большие многоэтажные жилые массивы со всеми видами благоустройства. Намывные грунты широко распространены на побережьях океанов, морей, водохранилищ и рек.

Строительство на антропогенных отложениях сопряжено с большими трудностями. Известно много случаев неудачного строительства на этих грунтах, что связано с низким уровнем изысканий, с ошибками в их оценке, расчетах, прогнозах и с некачественным проектированием и строительством.

Терриконы, горные отвалы, хвостохранилища — это антропогенный тип месторождений полезных ископаемых, которые со временем могут и будут использоваться для вторичной добычи рудного сырья (бедные руды, попутные минералы) и изготовления строительных материалов. Антропогенные образования в виде терриконов и горных отвалов участвуют в формировании малоприглядного антропогенного ландшафта

Многочисленные свалки в местах обитания человека ухудшают окружающую среду и повышают коэффициент ее загрязнения.

С антропогенными отложениями связано развитие ряда сопутствующих процессов и явлений: оползней, обвалов, осыпей, оплывин, дефляции, загрязнения атмосферы, водоемов, почв, грунтов, подземных вод; горение и взрывы терриконов, выделение отравляющих (нередко смертоносных) газов; изменение цвета (почернение) зданий (и даже отдельных городов), связанное с выделением их свалок сероводорода (г. Амстердам).

Переход на безотходное производство, переработка и утилизация отходов, превращение их в полезные материалы, безусловно, будут способствовать устранению негативных сторон антропогенного литогенеза. Применение рекультивации оздоровит состояние поверхности земли.

ГЛАВА V

Закономерности и перспективный прогноз антропогенных изменений геологической среды

Выше мы рассмотрели, как в результате многосторонней деятельности человека изменились главнейшие компоненты природной среды и образовались антропогенные геологические процессы и явления. В природе все взаимосвязано, все компоненты, формирующие геологическую среду, взаимообусловлены и находятся в единстве. Именно поэтому мы рассмотрели изменения атмосферы, растительности, почв, поверхностной гидросферы и климата, которые на первый взгляд как будто бы и не входят в состав геологической среды. Однако они оказывают большое влияние на геологическую жизнь планеты, входят в ее состав и неотделимы от нее. Воздействие человека на природу имеет свою историю, строго говоря, оно началось с появлением человека на Земле. Биосфера возникла, по новейшим данным, приблизительно 3,5 млрд. лет назад. До последнего времени преобладающее число ученых определяло возраст человечества в 1 млн. лет. Археологические и антропологические исследования последних лет позволяют считать, что человек появился на земле около 4 млн. лет назад и что колыбелью человечества является Африка.

В биосфере в результате ее эволюции возникла биотехносфера (антропосфера), которая также имеет свою историю. На первых ее этапах влияние человека на среду было ничтожно малым. Человек в основном пользовался дарами природы и приспосабливался к ее условиям. Возникновению техносферы предшествовало овладение человеком орудиями труда. Техносфера развивалась в несколько этапов. Постепенно и скачками усложнялась трудовая деятельность человека: собирательство → → охота → скотоводство → земледелие → ремесло → промышленное производство. В среде обитания (селитьба) эволюция шла в направлении: обитание на деревьях → шалаш → → пещера → дом → поселок → малый город → средний город → большой город → город-гигант → градопромышленная агломерация.

Как известно, применение каменного орудия увеличило силу человека примерно вдвое, применение рычага — в 5 раз, использование лошади — в 10 раз. В настоящее время созданы ультрамощные машины и механизмы.

Добывать огонь человек научился 300 тыс. лет назад Огонь дал людям тепло. свет и могущество над природой.

В развитии техногенеза происходили колоссальные изменения: от костра — к энергетическим гигантам — сверхмощным ТЭЦ, ГЭС, ГРЭС, АС; от палки и сохи к плугу; от лопаты — к экскаватору-гиганту, бульдозеру; от серпа и цепа — к комбайну; от лошади — к трактору; от деревянного лука, стрелы —

к мощным водородным бомбам и ракетам; от ручного ремесла — к мощным заводам-автоматам.

Человечество шло от адаптации и преклонения перед стихийными силами природы к управлению природными процессами через познание их закономерностей. Примером могут служить такие виды регулирования и управления природными процессами, как орошение, осушение, химизация и механизация сельского хозяйства.

Развитие технической вооруженности происходило отдельными ступенями и этапами: каменный век → → железный век → бронзовый век → → машинный век → электронно-ядерный век → космический век. Произошло качественное преобразование биосферы в ноосферу.

Процесс изменения окружающей среды имеет не только технический и технологический, но и социальный аспект, связанный с развитием структуры общества, с его переходами от первобытного к коммунистическому строю через рабовладельческую, феодальную, капиталистическую и социалистическую формации.

На разных ступенях общественного развития изменялись и взаимоотношения человека с природой: от хищнического к сознательному и рациональному природопользованию.

Развитие общества в разных частях света шло неравномерно, что обусловлено природными и экономическими условиями и историческими событиями. Как известно, «эпицентр» цивилизации в свое время переместился с Востока на Запад. В настоящее время в ряде районов (Африка, Юго-Восточная Азия, Южная Америка, Австралия и др.) обнаруживаются племена и народы, находящиеся на уровне развития доисторической эпохи. На Филиппинах племя тасадаев живет в пещерах, незнакомо с металлом, пользуется каменными орудиями, огонь добывает трением, питается лесными дарами. Это люди каменного века.

Более интенсивно техногенез проявлялся в неолите, бронзовом и железном веках. В неолите охота и рыболовство сменились земледелием и скотоводством, что значительно усилило изменение среды.

Земледелие оказало заметное влияние на изменение геологической среды. Для получения свободных земель сводились леса, применялись пожары. Использование подсечно-огневого и мотыжного способов обработки земли способствовало развитию водной и ветровой эрозии, гипергенных процессов, изменению ландшафта.

Расселение людей расширялось, увеличивалась плотность населения, хотя и весьма неравномерно. В настоящее время на 1 км² суши в среднем приходится 30 человек, тогда как плотность населения в Азии изменяется от 1 (МНР) до 500 (Бангладеш), в Европе от 2 (Исландия) до 330 человек (Нидерланды). Скученность населения увеличивает «нагрузку» на среду [154]. Освоено 55% площади суши, некоторые виды влияния человека приобрели глобальный характер.

Как отмечено выше, по интенсивности воздействия на геологическую среду первое место занимают горнорудные предприятия, нефтегазовые промыслы, промышленность, города, гидроузлы с водохранилищами, каналы, военные действия.

Масштаб воздействия человека на окружающую геологическую среду иллюстрирует обобщенные количественные показатели антропогенных воздействий (табл. 17).

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА НА ОКРУЖАЮЩУЮ ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ

Виды и показатели воздействия	Численное значение	Примечания и источник
Суша, охваченная деятельностью человека, %	55	А. М. Рябчиков, 1972 г.
Народонаселение мира, млрд. чел.	4,29	Данные на 1975 г. («Известия», № 55 от 6/III 1975 г.), ООН
Численность населения в СССР, млн. чел.	256,7	Данные ЦСУ на 1/VII 1976 г. («Правда», № 206 от 24/VII 1976 г.)
Жизненное пространство на 1 чел. за 9 тыс. лет до н. э., км^2	15	E. Basler, 1972 г.
Жизненное пространство на 1 чел. в настоящее время, км^2	0,043	То же
Распахивается земель в мире, млрд. га (пахота за последние 60 лет увеличилась в 2 раза)	1424	1970 г.
Распахивается земель в СССР, млн. га	240	11% от всей площади
Площадь пашен, садов в мире, %	13	
Площадь пастбищ, лугов в мире, %	25	
Площадь искусственных лесонасаждений в мире, %	5	
Площадь, занятая городами, поселками, промышленными объектами, в мире, %	1	
Площадь земледелия в СССР,	10,7	Н. Н. Розов, 1963 г.
Площадь сенокосов в СССР, %	2,0	Н. Н. Розов, 1963 г.
Площадь пастбищ и выгонов в СССР, %	14,2	То же
На полях рассеивается минеральных удобрений ежегодно в мире, млн. т	400	А. М. Рябчиков, 1976 г
На полях рассеивается ядохимикатов ежегодно в мире, млн. т	4	То же
Рассеяно ДДТ в мире за 25 лет, млн. т	1,5	А. П. Виноградов, 1973 г.
В Антарктиде выпало ДДТ за 22 года, т	2300	Ф. Н. Мильков, [97]
Глубина добычи нефти и газа в мире, км	4—10	
Глубина подземной добычи твердых полезных ископаемых в мире, км	4	
Глубина карьеров в мире, м	До 800	
Глубина строительных котлованов в мире, м	До 100	
Морская добыча нефти на шельфе в мире, %	20	К общему объему добычи. А. П. Виноградов, 1973 г.
Выплавляется различных металлов ежегодно в мире, млн. т	800	А. М. Рябчиков, 1976 г.
Производится синтетических материалов, неизвестных в природе, ежегодно в мире, млн. т	60	То же
Получено новых синтетических материалов, млн. ед.	2	А. М. Рябчиков, 1972 г
Синтезируется новых соединений, неизвестных в природе, ежегодно, тыс. ед	50	
Сжигается условного топлива ежегодно, млрд. т	7	[84]
Ежегодно сжигается в факелах попутного газа в СССР млрд. м^3	До 19	
Искусственное повышение температуры пород и вод, °С	До 1000	(При ПГУ, обжиге
Искусственное понижение температуры пород и вод,	До минус 25—30	Искусственное замораживание
Прокладка дорог в СССР, млн. км	1,9	1975 г

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 17

Виды и показатели воздействия	Численное значение	Примечания и источник
Прорыто каналов в СССР суммарным протяжением, тыс. км	350	
Число созданных водохранилищ объемом более 1 млн. м³ в СССР	~1000	«Гидротехника и мелиорация», 1973, № 10. с. 117—119
Длина берегов водохранилищ в СССР, км	50 000	
Расход поверхностного стока рек мира для промышленных и коммунальных нужд ежегодно, тыс. км³	3,2	
Потребляется воды в СССР ежегодно, км³	335	1975 г.
Сброс сточных вод в реки мира ежегодно, км³	420	
Водоснабжение населенных мест, основанное на использовании подземных вод, в мире, %	50	
Откачивается подземных вод для орошения 162 млн. га ежегодно в мире, тыс. км³	2,5	
Построено за 50 лет жилых домов в СССР, млрд. м²	>2	[12]
Создано с 1918 по 1976 г. новых городов в СССР	1151	Данные ЦСУ СССР («Комсомольская правда», № 166 от 17/VII 1977 г.)
Число городов в мире с населением более 1 млн. чел.	130	«Литературная газета». № 4 от 28/I 1976 г.
То же, в СССР	14	1977 г.
Городское население в мире:		
в начале XIX в., %	2	То же
в настоящее время, %	40	
Городское население в СССР, %	62	1977 г.
Число городов в СССР	2000	1977 г.
Число городских поселков в СССР	3700	1977 г.
Статические нагрузки на грунты, МПа	До 6,0	Терриконы в Англии
Выброс в атмосферу CO_2 в мире, млрд. т	23	[132]
Выброс в атмосферу других соединений, млрд. т	1,0	То же
Число больших и малых войн за историю человечества	14 500	[12]
Число мирных лет	200—250	То же

ТАБЛИЦА 18

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ АНТРОПОГЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Виды и показатели изменения среды	Численное значение	Примечания и источник
Уничтожение лесов в мире, %	66	За 500 лет, [18]
Извлечено из недр земли, млрд. т:		
угля	125	За последние сотни
нефти	33	То же
других полезных руд и стройматериалов	~100	Ежегодно в мире
Перемещается горных пород ежегодно в СССР, км³	>6	А. М. Рябчиков, 1972 г.
Объем горных работ в СССР, млрд. т в год	7,5	3 млрд. м³ год по Н. В. Мельникову
Сбрасывается с различными отходами химических веществ, тыс. ед.	600	А. П. Виноградов, 1973 г.

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 18

Виды и показатели изменения среды	Численное значение	Примечания и источник
Промышленные и бытовые твердые отходы всех городов мира ежегодно, млрд. т	3	
Сточных вод сбрасывается ежегодно в мире, км³	600	А. М. Рябчиков, 1976 г
Вынос в атмосферу газов и аэрозолей, млрд. т	1	
Содержание CO_2 в атмосфере, млрд. т	700	S. Sang, 1974 г.
Увеличение CO_2 в атмосфере с 1850 г., %	10—12	То же
Увеличение углекислого газа в атмосфере ежегодно, %	0,2	За 10 лет наблюдений
Увеличение запыленности атмосферы, %	20	С начала XX в., А.П. Виноградов, 1973 г.
Повышение среднепланетарной температуры, °С	0,4	С 1891 по 1951 г
Загрязняется мировой сток рек, км³	2500	
Поступает нефти в Мировой океан, млн. т	15	
1 л нефти или моющих веществ приводит в негодность воды, млн. л	1	
Покрыто нефтяной пленкой Мирового океана, %	25	
Орошаемых земель в мире, млн. га	235	1975 г.
Осушенных земель в мире, млн. га	170	1975 г.
Орошаемых земель в СССР, млн. га	15	
Осушенных земель в СССР, млн. га	15	
Заболочено и засолено земель в мире в результате орошения, млн. га	20	
Площадь орошенных земель за 200 лет увеличена, число раз	25	[83]
Засолению подвержено орошенных земель, %	40	
Число действующих оросительных систем в СССР, тыс.	2	
Мелиорируется земель в СССР, млн. га	112	
Перепахивается и изменяется почв ежегодно в мире, тыс. км³	6	[131] 1977 г. (ЦСУ)
Лесовосстановление в СССР на площади, млн. га	2,5	15% суши или 27% сельскохозяйственных земель
Эрозией уничтожено земель за 100 лет в мире, млрд. га	2	
Эрозия снижает урожайность, %	20—40	
Площадь оврагов в СССР, млн. га	6	В зоне степи. городов
Оврагов антропогенного типа в СССР, %	90	3% по А. М. Рябчикову, 1972 г
Площадь антропогенного бедленда, млн. км²	4,5	
Искусственное водопонижение в городах СССР, м	1—100	
То же, на нефтепромыслах и рудниках мира, м	До 4000 и более	
Оседание земной поверхности, вызванное откачками подземных вод, нефти и газа, м	До 3—9	Максимально в г. Мехико, Калифорнии
Подтопление застроенных территории в СССР, м	1—30	
Максимальный подпор вод у высоких плотин в СССР, м	100—300	
Провалы на подрабатываемых территориях в СССР,м	До 70	Кузбасс
Оползни, связанные с деятельностью человека, %	70	
Здания и сооружения, деформируемые антропогенными процессами, %	До 70	В городах СССР
Максимальные гравитационные осадки сооружений, м	4—6	На торфах
Максимальная скорость размыва берегов водохранилищ, м/год	10	Днепровское водохранилище

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 18

Виды и показатели изменения среды	Численное значение	Примечания и источник
Изменение сейсмической балльности под влиянием искусственных факторов, балл	1—2	
В зоне многолетней мерзлоты деформировано зданий и сооружений, %	50	«Правда», [illegible] от 28/VII 1974 г.
Площадь эродированных земель в СССР, млн. га	150	
Увеличение площади пустынных земель, млрд. га	1	С. Горшков, 1969 г
Мощность антропогенных отложений, м:		
терриконы	60—300	
горные отвалы	До 150	
культурный слой	До 45	
засыпанные шахты	До 1000	
намывные грунты, шлаки, золы	2—50	
Антропогенное осадкообразование в водохранилищах, тыс. км^2	120	
Улавливается вредных отбросов в мире,	Не более 30	А. М. Рябчиков, 1976 г.
То же, в СССР, %	65	То же
То же, в США, %	50	»
То же, в развивающихся странах, %	<10	»
В СССР атмосфера, реки, почва чище, чем в США, ФРГ и Японии, число раз	3	»
Мировая добыча нефти в год, млрд. т	2	Н. В. Мельников, 1973 г.
То же, природного газа, млрд. м^3	800—900	То же
То же, железа (по металлу), млн. т	374	»

ЗАКОНОМЕРНОСТИ АНТРОПОГЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Рассмотрим некоторые количественные показатели антропогенного изменения геологической среды под влиянием деятельности человека (табл. 18). Таблица показывает, насколько значительны изменения, происходящие в геологической среде и в геологической жизни Земли, однако действительные воздействия человека и изменения среды гораздо многообразнее и сложнее, что невозможно выразить количественными показателями.

Отметим основные закономерности антропогенных изменений геологической среды.

1. На арену геологической жизни Земли вступил новый, самый мощный и динамичный фактор — человек. За короткое время своего существования (по сравнению с возрастом планеты, исчисляемым 5—6 млрд. лет) человечество внесло колоссальные изменения в геологическую жизнь Земли.

2. В биосфере сформировалась ноосфера с новыми количественными и качественными свойствами.

3. Земля вступила в начальную фазу ноосферы. В геологической истории Земли наступил новый — антропогенный этап.

4. Ноосфера качественно отличается от биосферы. Человеку стала принадлежать ведущая роль в круговороте материи и энергии. В. И. Вер-

надский отмечал, что земная поверхность превращается в города и культурную землю и резко изменяет свои химические свойства. «Сейчас мы переживаем новое геологическое эволюционное изменение биосферы. Мы входим в ноосферу» [16, с. 119. «...странно, что на эту сторону дела никто никогда не обращал внимания... А ведь это у всех на виду» [33, с. 298]. По В. И. Вернадскому, биосфера двадцатого столетия превращается в ноосферу, создаваемую прежде всего ростом науки, научного познания природы и социального труда человечества.

5. Человек изменил все оболочки Земли, входящие в ноосферу: атмосферу, гидросферу и верхнюю часть литосферы.

6. Изменилось состояние биосферы, уменьшились биомасса, состав и продуктивность, усилилось ее загрязнение. «По-видимому, впервые за многие тысячи лет человек вошел в крупный конфликт с биосферой» [18, с. 62].

7. Изменилась геохимия земной коры, усилился геохимический обмен, что связано с извлечением, переработкой, перераспределением пород, обогащением руд, привносом в земную кору новых химических компонентов (до 1 млн. соединений, некоторые из них неизвестны в природе), с изменением химического состава гидросферы, загрязнением среды и др.

Непрерывно возрастает количество химических элементов, используемых человеком. В древнее время использовалось 18 химических элементов, в XVII в. — 25, в XVIII в. — 29, в XIX в. — 47, в начале XX в. — 54 и в середине XX в. — 80, кроме того, 11 трансурановых, обнаруженных к 60-м годам. За первую половину XX в. добыто из недр земли полезных ископаемых больше, чем за всю историю человечества [2].

8. Количественно и качественно изменилась геологическая деятельность человека в направлении ее интенсификации и разнообразия. Это подчеркивал А. В. Сидоренко: «Прежде всего следует обратить внимание на то, что геологическая роль человека (роль антропогенных процессов) теперь приобретает новый характер. Научно-технический прогресс и мощное развитие техники и в первую очередь неуклонный рост энергетической вооруженности человека стали в грандиозных масштабах воздействовать на природу в целом и на земную кору. Теперь уже недостаточно считать, что человек является геологическим фактором, а следует признать и то, что человек стал таким мощным геологическим фактором, порождающим такие геологические процессы, которые по своим масштабам и интенсивности не только сопоставимы, но в ряде случаев и превосходят многие естественные геологические процессы и явления. Это касается объема геологических тел и явлений, создаваемых человеком» [147, с. 9].

Положение, высказанное А. В. Сидоренко, подтверждается данными, приведенными в табл. 17 и 18.

9. Изменен состав земной коры. Человеком созданы новые изотопы, химические соединения, минералы, породы и почвы. На поверхности земли появился новый тип геологических образований — антропогенные отложения, резко отличающиеся по генезису, условиям залегания, составу и свойствам от естественных геологических тел. В составе антропогенных образований автором выделяются наземные, подводные и подземные отложения — семь генетических комплексов, 23 класса и 40 видов [72].

10. Резко активизирован круговорот воды в природе, изменены состояние и режим поверхностной и подземной гидросфер.

11. Изменены структура, состояние и свойства естественных физических полей земли. Преобразованы: гравитационное, термическое, электрическое, магнитное, гидродинамическое, радиоактивное, геохимическое, сейсмическое поля. Изменение физических полей носит глобальный, региональный и местный характер. Интенсивность изменения полей в пространстве и времени контролируется параметрами ноосферы, характером воздействий человека на среду. Наиболее интенсивное изменение физических полей наблюдается на территориях городов и промышленных центров, которые являются сгустками ноосферы. Описание антропогенных физических полей в условиях большого города дано в работе автора [74]. Изменение физических полей следует рассматривать как функцию, как проявление ноосферы. Поля преобразуются разнонаправленно в различных регионах и частях земной коры. С изменением физических полей связано развитие антропогенных геологических процессов и явлений.

12. Среди естественных геологических процессов и явлений появилась новая генетическая категория — антропогенные геологические процессы и явления, которые количественно и качественно (по условиям и закономерностям формирования) принципиально отличаются от природных процессов и явлений [63]. Их также можно рассматривать как функцию, как материализованное проявление ноосферы.

13. В систематике современных геологических процессов и явлений выделяются три категории: а) природные, б) природно-антропогенные и в) антропогенные [63]. Они различаются генетически, по условиям формирования, количественно и качественно.

С развитием ноосферы расширяется комплекс антропогенных геологических процессов и явлений. В настоящее время в систематике этих процессов автором выделено 5 групп, 17 классов и 92 вида (см. табл. 12). Антропогенные геологические процессы и явления не менее разнообразны, чем природные.

Антропогенные геологические процессы и явления дифференцируются в зависимости от вида деятельности человека. Каждый вид деятельности обусловливает определенный комплекс процессов и явлений [63].

Антропогенные геологические процессы развиваются под влиянием не только сознательных, но и стихийных воздействий человека на окружающую геологическую среду.

В каждом явлении сочетается действие многочисленных законов, поскольку все явления взаимосвязаны. Поэтому нельзя упрощенно представлять соотношение производных от сознательного и стихийного начала в природных и антропогенных геологических явлениях. Антропогенные геологические явления могут содержать элементы стихийного в тех случаях, когда они являются следствием сознательных воздействий человека на природу (например, овражкообразование вследствие распашки земель или явление абразии после создания водохранилищ и т. п.). Эти явления нежелательны, но пока неизбежны и развиваются стихийно, сопутствуя сознательной деятельности человека.

При изучении специфичности антропогенных геологических явлений некоторые исследователи в качестве

одного из характерных признаков данных явлений отмечали ограниченную площадь их распространения, приуроченность непосредственно к участку возведения сооружения или к территории, находящейся в непосредственной близости от него [117]. Такой признак верен лишь для явлений, связанных с отдельным сооружением. На этом основывалось широко распространенное представление о локальном, местном характере антропогенных (инженерно-геологических) явлений.

Однако новые факты, наблюдения и исследования последних лет, в частности исследования автора [61, 65], позволили установить, что многие геологические явления, связанные с деятельностью человека, распространяются на огромные площади, исчисляемые сотнями, тысячами, десятками тысяч квадратных километров и более, и стали принимать широкий региональный и даже глобальный характер, так же как и некоторые природные геологические явления. Иногда антропогенные геологические явления охватывают несколько географических зон и геологических структур.

Широкое региональное распространение этих явлений обусловлено, с одной стороны, тем, что с развитием техники некоторые сооружения становятся бóльшими по размерам и протяженности (например, некоторые каналы, водохранилища, дороги и др.), с другой — отдельные сооружения в ряде случаев в совокупности формируют крупноплощадные и региональные геологические процессы и явления (например, сотни и тысячи зданий на территории города, сотни и тысячи нефтяных вышек на территории нефтяной провинции; большое число шахт в пределах угольного бассейна и т. п.).

Некоторые геологические явления регионального характера вызываются не только в результате влияния одного сооружения, их совокупности или осуществления инженерных мероприятий, но и вследствие других видов хозяйственной и культурной деятельности человека (орошение земель, осушение местности, распашка земель, вырубка лесов, лесоразведение, благоустройство местности, обводнение и пр.).

Такие антропогенные процессы, как изменение климата, загрязнение атмосферы, гидросферы, заражение фауны и др., приобретают глобальный характер. А. В. Сидоренко отмечает: «Теперь можно говорить уже не о локальном воздействии человека на земную кору, как это было в начале текущего столетия, даже не о региональном влиянии человека на отдельные участки земной коры, настало время говорить о глобальном воздействии человека на земную кору. Достаточно сказать о том огромном количестве различных выбрасываемых в атмосферу компонентов, которые выпадают из атмосферы на континент и Мировой океан и оказывают влияние на геохимические процессы гипергенеза. Антропогенные эоловые процессы — одни из определяющих процессов глобальной геологической деятельности. Другим таким же проявлением глобального влияния человека на земную кору являются процессы перемещения водными массами — реками, ледниками и особенно Мировым океаном — продуктов хозяйственной деятельности человека» [147, с. 9].

Мировой океан иногда не в состоянии переработать пластмассы, полимеры, ядохимикаты, моющие средства, ДДТ и другие вещества, которых до недавнего времени не знала наша планета.

ТАБЛИЦА 18

ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ФОРМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОСНОВНЫЕ ТИПЫ АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ (по А. М. Рябчикову [132])

Формы производственной деятельности	Тип антропогенных ландшафтов
Строительство и разработка ископаемых	Города и промышленно-энергетические узлы Села и фермы Наземные коммуникации Искусственные водоемы (и каналы) Разработка полезных ископаемых (карьеры, шахты, нефтегазовые вышки) Полигоны и прочие инженерно-территориальные комплексы
Террасирование склонов Мелиорации	Очаги горно-долинного земледелия Орошаемые земли (поля, сады, виноградники) Осушенные земли (луга, бахчи, поля, сады)
Богарное земледелие	Поля (под монокультурами и севооборотами, пары и сеяные луга) Сады и плантации многолетних культур Перелоги с очагами земледелия, в том числе подсечно-огневого
Выпас скота	Улучшаемые пастбища (в том числе огороженные или ранчо Естественные луга и сенокосы Неулучшаемые лугово-кустарниковые и редколесные пастбища (полупустынные, горные, оленьи)
Лесоразработки и лесоводство	Эксплуатируемые леса (лесосеки, санитарная рубка, выпас скота, очаги земледелия и поселений) Девственные леса Вторичное мелколесье и заросли (джунгли, маквис и пр. Насаженные леса
Рекреационное строительство	Курорты Лесопарки (пригородные зоны отдыха) Заповедники и национальные парки

В зависимости от характера деятельности человека и направленности его воздействий на природную среду формируются различные типы антропогенных ландшафтов, а именно: аграрные, городские, горнодобывающие, промышленные, гидротехнические (с системой водохранилищ, каналов), лесные, рекреационные, военные и др. (по преобладающему признаку). Преобразование природного ландшафта в антропогенный на примере двух крупнейших городов СССР — Москвы и Киева — показано в монографиях автора [62, 78].

Антропогенный ландшафт— это заключительный этап, материализация всех видов воздействий человека на природную среду. Площадь природных ландшафтов из века в век на Земле сокращается. В табл. 19 приводится детальная типизация антропогенных ландшафтов А. М. Рябчикова.

Отметим, что некоторые типы ландшафтов, выделенные А. М. Рябчико-

вым, такие, как девственные леса, заповедники и национальные парки, по мнению автора, не относятся к антропогенным. Классифицирование антропогенных ландшафтов затруднено тем, что виды хозяйственной деятельности человека трудно разграничиваются.

Целесообразно существующие ландшафты, так же как и современные геологические процессы, разделять на три категории: 1) природные (целинные, не измененные деятельностью человека); 2) природно-антропогенные (природные ландшафты, количественно и качественно преобразованные человеком) и 3) антропогенные ландшафты (полностью созданные человеком).

Примером антропогенных ландшафтов могут быть крупные водохранилища, большие массивы искусственного лесоразведения, массивы орошения, культурные оазисы в пустынях и другие, не соответствующие природным условиям, климатической зональности. Возможны процессы взаимного перехода ландшафтов в двух направлениях: антропогенизации и природной ассимиляции. Региональный характер имеют процессы опустынивания, остепнения, залесения территорий под влиянием антропогенных факторов. Так, в прошлом пустыня Сахара представляла собой цветущий край.

Антропогенные ландшафты в отличие от естественных весьма динамичны, быстрее формируются. По площади распространения они разделяются на глобальные, региональные, крупноплощадные и местные (макро-, мезо- и микроландшафты). Некоторые антропогенные ландшафты имеют природные аналоги, например, водохранилище — озеро, канал — реку и др., но они не полностью тождественны, различаются по количественным и качественным показателям [63].

Антропогенные ландшафты служат средой обитания человека, и познание закономерностей их формирования имеет не только научное, но и народнохозяйственное значение. Деятельность человека азональна, так как протекает во всех природных зонах Земли, но характер изменений геологической среды и развитие антропогенных геологических процессов контролируется зонально-климатическими и региональногеологическими условиями, хотя отдельные их составляющие часто интразональны.

Не все компоненты природной среды в одинаковой степени подвержены воздействиям человека и изменениям. Их можно разделить на три категории: 1) не изменяющиеся (внутренние оболочки Земли, почти все эндогенные геологические процессы); 2) слабо изменяющиеся (геологический фундамент ландшафтов, геологическое строение, макрорельеф, макроклимат); 3) активно изменяющиеся (атмосфера, гидрографическая сеть, почвы, флора, фауна, мезо- и микроклимат, мезо- и микрорельеф, подземная гидросфера).

Наиболее изменяемы и динамичны ландшафты зоны многолетней мерзлоты, горноскладчатых областей, берегов океанов, морей, озер и рек, где природные равновесия нарушаются быстрее и интенсивнее.

Породы разного генезиса, возраста и петрографического состава неодинаково реагируют на искусственные воздействия человека. Наиболее чувствительны к воздействиям породы, легко деформируемые в коре выветривания под статическими и динамическими нагрузками, при взаимодействии с водой, при изменении терми-

ческих, химических, геодинамических и других условий.

В составе подземной гидросферы наиболее подвержены изменениям верхние водоносные горизонты, особенно не защищенные водоупорами.

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПРОГНОЗ АНТРОПОГЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Человек не может жить только прошлым и настоящим, не думая о своем будущем. Предвидение, научное прогнозирование нужно для планирования развития всех видов его деятельности. Человек научился исследовать свое прошлое и настоящее, он должен овладеть и наукой предвидения: понять, чтобы предвидеть, предвидеть, чтобы овладеть. В этой формуле выражено основное кредо научной прогностики. Главным инструментом познания будущего является исторический и диалектический материализм. В. И. Ленин учил мечтать. Мечта — первая стадия проектирования, начальное звено научного исследования. В прогностике применяются различные типы прогнозов: качественные, количественные, безотносительные, срочные (краткосрочные, долгосрочные), бессрочные перспективные), локальные, региональные и глобальные.

Для прогнозирования изменений геологической среды могут быть применены все указанные типы прогнозов. Однако следует признать, что практика прогнозирования переживает пока еще процесс становления. Научное прогнозирование должно опираться на достижения математики, кибернетики, моделирования, теории пределов, теории вероятностей, теории игр.

В СССР и за рубежом в этой очень сложной деятельности накоплен пока небольшой опыт. Еще недостаточно разработаны теория и методика прогнозирования геологической деятельности человека, изменения природной среды и их последствий.

В настоящей главе автор лишь пытается осветить некоторые аспекты перспективного прогноза изменения геологической среды, опираясь на уже выполненные исследования этих изменений, с учетом определенных закономерностей, поддающихся научному анализу, и памятуя, что «будущее рождается сегодня», на конкретной исторической основе. Автором учтены прогнозные работы и высказывания ряда советских и зарубежных ученых, материалы и решения отечественных и международных съездов, конференций и симпозиумов.

В перспективных и долгосрочных прогнозах изменения природной среды следует исходить из долгосрочных планов (на 2000 г. и дальше) и перспектив развития науки, техники и производства, социальных условий и общественных отношений, т. е. учитывать прогнозы изменения экономики на основе закономерностей взаимоотношения общества и природы.

В развитии научно-технического прогресса, производительных сил, общественного производства и социальной структуры общества и окружающей среды прогнозируются изменения в следующих основных направлениях.

1. Переход от капитализма к социализму и коммунизму в развитии социальной структуры общества. Борьба за мир, труд, свободу, равенство, братство и счастье всех народов. Развитие международного сотрудничества в различных обла-

стях и особенно по благоустройству планеты, рациональному использованию ресурсов и охране окружающей среды.

2. Постепенный переход в СССР от стадии развитого социализма к коммунистическому обществу.

3. Выравнивание экономического и культурного развития различных стран мира.

4. Выполнение программы КПСС в области повышения общего благосостояния народа, подъема уровня народного хозяйства, ликвидации различий между городом и деревней, работниками физического и умственного труда, сближения наций и народностей, выравнивания экономического и культурного уровня республик, краев и областей, осуществления социалистической системы расселения, ограничения роста крупных городов, развитие экономически перспективных средних и малых городов, укрупнение сельских поселков.

5. Ускорение научно-технического прогресса, развитие фундаментальных и прикладных наук, создание новой, более эффективной техники, технологии, способов производства; повышение качества продукции.

6. Создание новых, более прочных, долговечных веществ и материалов с заданными свойствами, а также высокопроизводительных, легких, малогабаритных машин и механизмов; широкое применение синтетических высокомолекулярных соединений и полупроводников с новыми электромагнитными свойствами. Повышение КПД всех машин и видов производства, модернизация технологии с тем, чтобы свести до минимума загрязнение среды.

7. Совершенствование и широкое применение ЭВМ. Развитие кибернетики и автоматизации.

8. Повышение энергетической вооруженности; максимальное использование энергии атомного ядра, солнца, моря, рек, подземного тепла (горячие, перегретые подземные воды, парогазовые смеси). Преобразование тепловой и ядерной энергии в электрическую, управление термоядерными реакциями, увеличение сверхпроводимости материалов.

9. Увеличение минеральных ресурсов, потребность в которых будет возрастать. Опережающее увеличение запасов полезных ископаемых с учетом запросов начала XXI в. Поиск и разведка новых перспективных месторождений полезных ископаемых с применением новейших дистанционных (космические станции, спутники, аэрофотосъемка), геофизических, геохимических методов разведки, сверхглубокого бурения. Резервы неразведанных месторождений полезных ископаемых колоссальны, особенно в Африке, Азии и Латинской Америке. Не изучены минеральные богатства шестого континента, покрытого льдом мощностью до 2,5 км. По мнению советских геологов, голод минерального сырья не грозит человечеству.

10. Открытие новых месторождений нефти и газа в Восточной Сибири, на северо-западе страны, на Кавказе, в Прикаспии, Причерноморье, Приазовье, Прибалтике и других перспективных регионах.

11. Расширение разведки и добычи полезных ископаемых на шельфе и на дне морей и океанов, в глубоких горизонтах земной коры, в частности, в докембрийском фундаменте и его выступах. На дне океанов сосредоточено 1,5 трлн. т рудных конкреций [84].

12. Извлечение из рассолов и минерализованных вод океанов, морей, озер, лиманов и лагун ценных хи-

мических элементов. В воде Мирового океана растворено 50 млрд. т минералов [90].

13. Расширение фронта геологических изысканий к 2000 г. в 3—4 раза.

14. Увеличение глубины добычи полезных ископаемых, рост применения открытого способа горных разработок, извлечение полезных ископаемых из недр способами подземного выщелачивания водой, щелочами, кислотами, растворами, содержащими соответствующие бактерии, термической возгонки, плавления, электролиза, массообменных, химических и других воздействий на породы «in situ», с извлечением полезных ископаемых на поверхность земли через скважины. Такими геотехнологическими способами возможна добыча залежей солей, серы, битума, озокерита, асфальта, углей (ПГУ), сланцев (возгонка, выплавление, подземный обжиг); соединений меди, железа, никеля, марганца, золота, молибдена, редких элементов и др. Применение такой технологии сохраняет окружающую среду, освобождает человека от подземного труда. в перспективе она будет использоваться наряду с традиционными подземным и карьерным способами добычи полезных ископаемых.

15. Создание новых изотопов, химических соединений, оптимальных искусственных минералов, пород, месторождений полезных ископаемых с заданными свойствами и качеством. Обогащение минеральной среды путем бактериологических, химических и энергетических воздействий.

16. Повышение эффективности технологии горного дела, полное извлечение (без потерь) не только продуктивных тел (руд), но и утилизация вскрышных пород с использованием их как минеральных стройматериалов и для других целей.

17. Развитие морской добычи минеральных ресурсов с применением плавучих и подводных буровых агрегатов, танкеров и трубопроводов для транспортировки нефти и газа.

18. Увеличение, создание новых и рациональное использование всех видов природных ресурсов (водных, пищевых, материальных и др.). Устранение в районах дефицита пресной воды водного голода, увеличение водопотребления к 2000 г. в среднем до 55—88 т в сутки на каждого жителя [12], регулирование поверхностного и подземного стока, магазинирование вод, устройство подземных водохранилищ, опреснение морских вод.

Увеличение продуктивности сельского хозяйства в 2—4 раза при полном использовании достижений аграрной науки. В резерве имеются колоссальные пищевые ресурсы Мирового океана. Голод не грозит человечеству.

19. Использование нефти, природного газа и каменного угля не в качестве топлива, а как ценного химического сырья (идея Д. И. Менделеева) для производства различных видов промышленной продукции. Вместо использования нефти, газа и угля предполагается широкое развитие АС, ГЭС, гелиостанций и пр., что не будет загрязнять среду.

20. Совершенствование традиционных видов транспорта, увеличение его мощности и скорости (увеличение скорости наземного транспорта более 300 км/ч, высоты транспортной авиации до 15—20 км). Развитие новых видов транспорта — на подводных крыльях, на воздушной, магнитной подушке, пневматического сверхскоростного трубного, ракетного, подземного и других видов, не зависимых от особенностей рельефа, водных преград, состояния грунтов, погоды

и т. п. Замена бензинного автотранспорта электрическим, применение движущихся тротуаров, индивидуальных летающих аппаратов.

21. Дальнейшее развитие урбанизации и агломерирования. Доля городского населения к 2000 г. повысится на Земле до 50—60%, в СССР— до 75—80%, число городов-миллионеров к 2000 г. на Земле увеличится до 300—400, в СССР — до 25—30.

В соответствии с проектом Генеральной схемы группового расселения в СССР предусматривается формирование примерно 60 крупных, 175 средних и 340 групповых систем, различающихся размерами города—центра и внешних зон. В групповые системы входят не только города, но и укрупненные сельские поселки. Системы группового расселения предусматривают выравнивание расселения, рациональное использование производительных сил и развитие новых территориально-производственных комплексов.

В градостроительстве СССР предусматривается резкое повышение санитарного и эстетического уровня, совершенствование инженерного оборудования, благоустройство городов, улучшение жилищных условий, природной среды, ликвидация дискомфортных условий, достижение гармонии города с окружающей средой, воплощение народного стремления к красоте в ландшафтной архитектуре. Предстоит развитие подземного градостроительства, дальнейшая индустриализация и модернизация строительства, усовершенствование службы инженерных изысканий.

22. Увеличение населения планеты к 2000 г. до 7 млрд. чел. (прогноз ОНН), к 2100 г. — до 10—12 млрд. чел., в СССР — до 290—310 млн. чел. Ожидается замедление темпов прироста населения, особенно в Европе и Северной Америке, возможно регулирование рождаемости. Замедление процессов старения организма, продление активной фазы жизни на 50 лет и более. Увеличение средней продолжительности жизни к 2000 г. до 88—92 г., к 2017 г. — до 97 лет.

23. Почти удвоенный прирост населения планеты к 2000 г., что потребует, как минимум, увеличения вдвое жилищ, пищи, водопотребления, топлива, культурно-бытовых учреждений, коммунальных предприятий, развития промышленности, сельского хозяйства, транспорта, связи, торговли и пр. Следовательно, предстоит больше чем удвоить (учитывая повышение уровня жизни) все то, что создано человечеством за всю историю цивилизации. Это колоссальная задача, требующая огромного расширения строительства и общественного производства.

Инженерная геология должна предусмотреть такие ожидаемые изменения в строительстве, как бурное развитие подводного, надводного, подземного и надземного (воздушного) строительства; повышение этажности и объема зданий, применение новых материалов с заданными свойствами, новых конструкций (в том числе пневматических), новых принципов расселения и градостроительства; усложнение строительства в связи с освоением неблагоприятных в инженерно-геологическом отношении территорий.

Осуществление перспективных планов развития общества в XX в. и дальше, безусловно, вызовет существенные изменения в геологической жизни Земли. Антропогенные изменения геологической среды, как свидетельствуют исторический опыт и прогностика, будут происходить в следующих направлениях.

1. В ноосфере получат соответствующее отражение все те изменения, которые будут иметь место в политическом и экономическом развитии общества.

2. Увеличится объем и расширятся границы ноосферы по вертикали на десятки километров, по горизонтали она охватит всю поверхность земного шара. При развитии коммунистических отношений в обществе предвидится качественная эволюция ноосферы в прогрессивном направлении с учетом интересов и судеб человечества (увеличение положительных, рациональных и уменьшение отрицательных воздействий на среду), повышение регулирующей роли человека.

3. Дальнейшее развитие получит зародившаяся в 60—70-х годах XX в. ноокосмосфера. Будет продолжено освоение космического пространства. расширятся сеть долго действующих орбитальных космических станций и спутников и космические дистанционные геологические исследования Земли и других планет. В далекой перспективе на Земле будут использоваться природные ресурсы других планет, если наступит истощение ресурсов Земли.

4. По мере роста народонаселения и производственной деятельности человека, с открытием новых месторождений и других природных ресурсов в необжитых районах планеты будет расширяться сфера обитания и жизнедеятельности человека. Это вызовет миграцию людей к полюсам, в новые малообжитые и необжитые регионы Земли, потребует освоения трудных природных зон Земли: Арктики, Антарктики, северных районов тундры, высокогорных, пустынных, полупустынных, заболоченных, сейсмоопасных, оползневых, закарстованных и других мало благоприятных в инженерно-геологическом отношении районов, но экономически перспективных. В СССР опережающими темпами будут осваиваться восточные и северные районы, особенно Сибирь.

Решениями XXV съезда КПСС намечено создание и развитие сети территориально производственных комплексов разного экономического профиля (Западно-Сибирский, КМА, Ангаро-Енисейские, Тимано-Печорский, Южно-Таджикский и др.).

5. Ускорятся темпы развития ноосферы во времени.

6. Прогнозируются следующие физико-геологические изменения геологической среды и возможные их последствия:

1) постепенное исчерпание невозобновляемых природных ресурсов (минеральных и др.) и замена их новыми ресурсами;

2) регулирование использования возобновляемых ресурсов (флора, фауна, вода и др.) и их расширение в соответствии с возрастающими потребностями человечества;

3) введение в хозяйственный оборот новых видов материи и энергии;

4) антропогенное потепление климата, обусловленное увеличивающимся выходом в атмосферу антропогенного тепла и повышением в составе атмосферы содержания CO_2 (действие «парникового эффекта»).

Потепление климата может вызвать следующие изменения геологической среды:

— таяние и исчезновение льдов Арктики и Антарктики, горных ледников, что вызовет повышение уровня Мирового океана примерно на 50—60 м, затопление низких побережий, островов, сокращение площади суши примерно на 15 млн. км², т. е. на 10%. Под водой окажутся низины Севера, Европы,

Индии, Китая и других стран, важнейшие экономические районы, многие порты;

— деградацию многолетней мерзлоты, вследствие чего на севере Сибири протаивание рыхлых мерзлых пород, насыщенных льдом на 50—60%, вызовет оседание и затопление морем огромных приморских низменных пространств и расширение зоны непроходимых болот [145];

— исчезновение ледников, что сократит и без того дефицитные запасы пресных вод ориентировочно на одну треть;

— сокращение площади снежного покрова, что вызовет изменения в водном и температурном балансе, в экологии огромных пространств Земли;

— уменьшение контрастов между природными зонами, что отразится на растительности, почвах, гидрографии, фауне, экзогенных геологических процессах и других компонентах природной среды;

— резкое изменение, по мнению некоторых геофизиков, гравитационного поля (средняя мощность антарктического ледникового щита около 2 км), с чем будет связано уменьшение скорости вращения Земли вокруг своей оси, и увеличение наклона земной оси.

По данным С. Горшкова [31], в результате изменения скорости вращения Земли возможно преобразование ее фигуры, перемещение подкоровых масс, изменение напряженного состояния земной коры и мантии, усиление горообразовательных процессов, землетрясений, вулканической деятельности. Потепление климата вызовет активизацию эндогенных и экзогенных геологических процессов и явлений.

Отметим, что значительный антропогенный разогрев планеты, по мнению многих ученых (А. П. Виноградов, М. И. Будыко и др.), можно ожидать лишь спустя несколько столетий, а к тому времени человек овладеет способами удаления излишнего антропогенного тепла. Уже сейчас ученые предлагают два способа: повышение альбедо и замутнение атмосферы земли. Величина повышения планетарной температуры, которая будет представлять опасность, принимается различной: от 1 до 4° С; это подлежит уточнению.

Антропогенное повышение температуры, связанное с выделением искусственного тепла и накоплением CO_2 в атмосфере, в настоящее время тормозится наступившим с середины XX в. похолоданием климата в среднем на 0,4° С, которое А. П. Виноградов связывает с нарастающим запылением атмосферы. По новейшим данным (1977 г.), с конца 60-х годов на планете вновь становится теплее.

7. Повысится роль человека в регулировании экзогенных и частично эндогенных явлений, изменений геологической среды и развитии антропогенных геологических процессов. Расширятся мелиорация и благоустройство планеты. Будет широко применяться мелиорация местного, регионального и глобального значения. Осуществление глобальных мелиораций макроклимата, поверхностной и подземной гидросфер и других компонентов природной среды будет способствовать расширению международного сотрудничества.

8. В составе крупных мелиоративных мероприятий регионального и глобального значения намечаются: а) межбассейновая переброска стока рек, соединение рек и морей каналами; б) создание внутриконтинен-

тальных крупных искусственных морей пресных вод в пустыне Сахара (р. Конго), в странах Южной Америки (р. Амазонка), в Азии, Сибири и Средней Азии (реки Обь, Енисей и др.); в) увеличение водности морей (Аральское, Каспийское, Азовское и др.); г) изменение теплых и холодных течений в океанах в целях улучшения климатических условий; д) осушение болотных и заболоченных массивов; облесение степей, полупустынь, пустынь; е) борьба с опустыниванием и остепнением территорий; ж) противооползневые, противоэрозионные, противоабразионные, противоселевые и другие мелиоративные мероприятия. Разработка и осуществление генсхем, планов и проектов потребует комплексного научного, в том числе инженерно-геологического обоснования.

Выполнение планов и проектов региональных и глобальных мелиораций улучшит окружающую геологическую среду, снизит коэффициент загрязнения среды и деградации природного ландшафта. В социалистических странах, где плановый характер производства и отсутствие частной собственности на природные богатства, этот процесс будет происходить с наибольшим эффектом.

9. Эволюция ноосферы будет сопровождаться разнонаправленным изменением геодинамического состояния Земли. Как отметил А. В. Сидоренко, в дальнейшем роль и значение антропогенных геологических процессов в формировании земной коры будет возрастать [147, с. 9]. Будет расти их площадное распространение с охватом всей территории Земли и углубление в земную кору на 5—15 км и более.

Спектр антропогенных геологических процессов и явлений будет расширяться, но дальнейшее изменение их станет неоднозначным. В зависимости от характера и направленности деятельности человека некоторые виды процессов и явлений усилятся, другие, наоборот, ослабятся.

В порядке долгосрочного прогноза можно считать, что будут у с и л и в а т ь с я: субтерральные процессы и явления в связи с расширением подземного строительства, явления оседания земной поверхности, вызванные изменением гравитационного поля (рост статических и динамических нагрузок), процессы выветривания пород, связанные со вскрытием, их подрезкой, вспашкой почв и др., береговые экзогенные процессы, антропогенное субаквальное осадкообразование в системе водохранилищ и каналов, сеть которых будет расти, антропогенный карст (усиление водообмена и агрессивности вод), деградация многолетней мерзлоты, термопросадки, солифлюкция, термокарст, морозное пучение в геокриозоне, искусственное понижение уровня подземных вод в связи с усилением водоотбора (питьевое, ирригационное, промышленное и прочее водоснабжение, углубление горных разработок нефтяных и газовых скважин, строительные откачки), образование депрессионных воронок, гидростатическое и дегидратационное обжатие грунтов, оседание поверхности земли, подтопление, заболачивание территорий, набухание, просадка лёссовых грунтов и др.

В связи с широким применением мер предупреждения и борьбы и повышением общей культуры землепользования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений будут о с л а б л я т ь с я следующие геологические процессы и явления: эрозия, дефляция, селеобразование,

оползни, обвалы, осыпи, речная эрозия и абразия. По мере развития безотходного производства, горных работ с использованием вскрышных пород, утилизацией и сжиганием хозяйственно-бытовых отходов со временем уменьшится процесс накопления антропогенных отложений.

ТАБЛИЦА 20

ПРОГНОЗНЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИЗМЕНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Виды и показатели изменений среды	Численное значение	Примечания и источник
Увеличение мирового производства к 2000 г., число раз	4	[132]
Увеличение продуктивности сельского хозяйства (на перспективу), число раз	2—4	То же
Увеличение объема добычи полезных ископаемых к 2000 г. по сравнению с 1950 г., число раз	13—14	В мире
Углубление добычи полезных ископаемых, км	До 5—15	
Извлечение из недр горных пород, млрд. т	600	[2]
Намечается к 2000 г., млн. га:		
лесовосстановительные работы	45	Н. В. Мельников, 1973 г.
противоэрозионные мероприятия	12—14	То же
защита водных ресурсов	50	»
Расход речного стока для производственных и хозяйственных нужд к 2000 г., %	До 50	»
Численность населения планеты к 2000 г., млрд. чел.	7	Данные ООН
Поверхность земли, которую займут через 150 лет городские поселения	1/3	
Извлечение из недр полезных ископаемых в мире, млрд. т	189	[106]
Объем водохранилищ в мире возрастет к 2000 г., тыс. км³	До 10—12	А. Б. Аваканян, 1973 г.
К концу XXI в. прогнозируется численность населения планеты, млрд. чел.	10—12	[154]
Увеличение средней продолжительности жизни человека, лет:		
к концу XX в.	88—92	
к 2017 г.	97	[12]
в перспективе	100—120	То же
Численность населения СССР к 2000 г., млн. чел.	290—315	«Литературная газета», № 4 от 28/I 1976 г.
Число городов-миллионеров в СССР к 2000 г.	25—30	То же
Численность городского населения в мире к 2000 г., %	50—60	»
Численность городского населения в СССР к 2000 г., %	75—80	
Число городов-миллионеров в мире к 2000 г.	300—400	»
Численность населения в СССР к 2017 г., млн. чел.	500	[12]
Площадь городов и поселков к 1990 г., млн. га	15	
Сжигание топлива увеличится к 2000 г., число раз	4—6	
Увеличение в атмосфере CO_2 к 2000 г., %	20	[18]
Повышение температуры Земли, °С:		
к 2000 г.	2	То же
через 500 лет	12,2	Г. Н. Пласс
Мировой расход воды на 1 чел. в сутки к XXI в., т	55—58	[12]

По мере расширения мероприятий по охране и улучшению окружающей среды и повышения эффективности использования природных ресурсов уменьшится коэффициент загрязнения среды и деградации ландшафта; некоторые виды современных геологических процессов и явлений будут переходить из указанной выше первой группы (активизация процессов) во вторую (ослабление процессов).

В табл. 20 приведены некоторые количественные показатели долгосрочного прогноза изменения природной среды, обобщенные автором по литературным данным.

К прогнозам следует относиться с осторожностью. В зарубежной литературе появились утопические, прожектёрские, ложные и научно не обоснованные прогнозы, например, о том, что человек будущего будет жить под землей, город будущего — это один дом-гигант, вмещающий 100—300 млн. жителей; природные ресурсы на исходе, человечеству грозит голод и смерть, перенаселение планеты приведет к демографическому взрыву, человечество погибнет от самопогребения в «мусоре», мир погибнет в огне ядерной войны. Вопреки пессимизму буржуазных прогнозистов, наша страна уверенно смотрит в будущее. По мнению советских ученых, многие опасности и критические ситуации вполне устранимы и предотвратимы.

Нельзя не вспомнить слова В. И. Вернадского: «... идеалы нашей демократии идут в унисон со стихийным геологическим процессом, с законами природы, отвечают ноосфере. Можно смотреть поэтому на наше будущее уверенно. Оно в наших руках. Мы его не выпустим» [16, с. 119].

В перспективе ожидается не ослабление, а усиление влияния человека на геологическую среду. Можно надеяться, что широко распространенные стихийные воздействия, которые чаще обедняют и наносят ущерб природе, будут все больше заменяться сознательными и рациональными, направленными на ее улучшение.

ГЛАВА VI

Охрана природы и улучшение геологической среды

К проблеме охраны природы и улучшения окружающей среды приковано сейчас внимание всего мира, она стала важнейшей проблемой века. Тревогу и озабоченность стали вызывать явления загрязнения, отравления окружающей среды, хищническое и нерациональное природопользование, истощение природных ресурсов, нарушение природных равновесий, развитие отрицательных геологических процессов.

Неблагоприятные, иногда трудно поправимые изменения природной среды наносят ущерб хозяйству, здоровью и благополучию человека и главное — судьбе будущих поколений. Хищническая эксплуатация ресурсов и нерациональное природопользование приняло угрожающие размеры в капиталистических странах, где культ бизнеса и частная собственность на естественные богатства способствуют этому, порождают процессы обеднения природы, деградацию ландшафтов.

Это вызвало экоистерию, пессимистические прогнозы ряда буржуазных футурологов. «Человек погибнет, убитый непомерным ростом того, что он называет цивилизацией» (Жан-Дорст). «Человечеству грозит вымирание через два поколения, если не будут приняты меры против загрязнения окружающей среды» (М. Стронг).

В социалистических странах при общественной собственности на землю, недра, воду, леса и плановом ведении хозяйства эта проблема успешно решается. С марксистских позиций ученые строят более оптимистические прогнозы.

Генеральная линия и задачи в области охраны природы и рационального использования природных ресурсов изложены в Программе КПСС, в постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов» и в соответствующих законах об охране природы, утвержденных Верховным Советом СССР и Верховными Советами некоторых союзных республик.

В «Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы» * указано: «Разрабатывать и осуществлять мероприятия по охране окружающей среды, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов. Осуществлять с использованием новейших научно-технических средств исследования природных ресурсов, а также контроль за состоянием окружающей среды и источниками ее загрязнения». Здесь также имеются указания, относящиеся непосредственно к геологической среде: «Внедрять новые

* «Материалы XXV съезда КПСС». М., Политиздат, 1976, с. 174.

эффективные способы и системы разработки месторождений полезных ископаемых, прогрессивные технологические процессы их добычи, обогащения и переработки, имея в виду повысить степень извлечения полезных ископаемых из недр, обеспечить более полную и комплексную переработку минерального сырья, а также резко уменьшить вредное воздействие отходов на окружающую среду. Активнее вести разработку и внедрение технологических процессов, обеспечивающих уменьшение отходов и их максимальную утилизацию, а также систем использования воды по замкнутому циклу *».

Там же отмечена необходимость борьбы с отрицательными воздействиями электрических и магнитных полей и излучений, борьбы с водной и ветровой эрозией, вторичным засолением, иссушением, подтоплением почв и загрязнением промышленными отходами. Решено проводить рекультивацию угодий после торфоразработок и горных работ, осуществлять меры по комплексному и рациональному использованию и охране земельных, водных и лесных ресурсов, совершенствовать прогнозирование влияния производства на окружающую среду и учитывать его возможные последствия при подготовке и принятии проектных решений.

В решениях XXV съезда дана глубоко научно обоснованная программа дальнейших работ в области охраны природы и рационального использования природных ресурсов.

В 1976 г. в Ленинграде проводилась Всесоюзная конференция по инженерной геологии, детально рассмотревшая проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды [121].

Проблема окружающей природной среды является комплексной и многогранной, она имеет ряд аспектов: экономический, социологический, геологический, географический, биологический и др. Существует и инженерно-геологический аспект этой проблемы. Во-первых, инженерная геология в значительной степени является наукой о взаимодействии человека, инженерных сооружений и природной геологической среды, во-вторых, она не может не касаться тех антропогенных изменений компонентов природной среды, которые формируют и определяют инженерно-геологические условия строительства. Инженерно-геологические оценки, расчеты и прогнозы будут односторонними и научно не обоснованными без учета роли антропогенных факторов в трансформации природных условий.

Роль инженерной геологии в решении проблем окружающей среды отмечена в решениях Всесоюзной инженерно-геологической конференции, состоявшейся в 1972 г. в Тбилиси. Одной из важнейших задач, вытекающих из этих решений, является разработка геологических основ решения проблемы охраны и преобразования природы [50].

Нельзя догматически подходить к охране природы, понимать ее как незыблемое сохранение и консервацию всего существующего, как сохранение природы в неизменном состоянии. Заслуживает внимания высказывание А. В. Сидоренко:

* «Материалы XXV съезда КПСС», М., Политиздат, 1976, с. 174.

«...некоторые «охранители природы» выступают за сохранение природы в девственном состоянии, за то, чтобы «не трогать» природу. Такая постановка вопроса глубоко порочна... Силы науки должны быть направлены не на то, чтобы оставить неприкосновенной природу в условиях непрерывно развивающейся сознательной деятельности человека, а найти такие методы ведения хозяйства, которые учитывали бы природные связи, развивали и направляли природные равновесия в сторону либо минимальных вредных последствий, либо приводили к улучшению природного потенциала» [145, с. 62].

Природа изменяется в двух направлениях — обеднения и обогащения окружающей среды. Обеднение природы — спутник капиталистических стран и дореволюционной России. Это обеднение проявилось в уничтожении растительности, загрязнении рек, озер и морей, в изменении рельефа в связи с появлением карьеров, горных отвалов, терриконов и свалок, развитием оползней, обвалов, оврагов, заболачивания и др., хищнической эксплуатации и истощении минеральных, энергетических и других природных ресурсов, в том числе подземных вод и пр. В СССР выполняются в грандиозных масштабах работы в области лесных, сельскохозяйственных, водохозяйственных и технических мелиораций.

Обогащение природной геологической среды проводится во многих, преимущественно новых советских городах, построенных в тяжелых природных условиях — в пустынях, на Крайнем Севере и т. п. Примером могут служить такие города, как Шевченко, Навои, Норильск и др. Здесь природная среда изменена и улучшена волей и творчеством советского человека.

Факты, характеризующие ухудшение природной геологической среды и расточительное использование природных ресурсов, в значительной мере связаны с просчетами, ошибками и порочной практикой некоторых плановых и хозяйственных органов, научных, изыскательских, проектных и строительных организаций.

Главными причинами ухудшения природной среды являются: а) неумение прогнозировать изменения окружающей среды, б) ведомственная и узкопрофессиональная ограниченность в решении экономических, инженерно-технических вопросов, недооценка мер предупреждения, борьбы и защиты природной среды и народнохозяйственных объектов.

Немалая роль в улучшении окружающей среды и использования природных ресурсов принадлежит изыскателям, поскольку всякое строительство начинается с изысканий.

Ошибки при изысканиях могут быть такими:

а) неправильная оценка взаимодействия сооружения или комплекса сооружений с окружающей средой;

б) недоучет направления возможных изменений геологической среды, отсутствие нужного прогноза;

в) ошибочные рекомендации, выполнение которых не улучшит, а ухудшит природную среду, обречет построенные сооружения на деформации и разрушение.

Проводя изыскания, проектируя и строя различные сооружения, следует изучать закономерности изменения геологической среды в результате их включения в окружающую среду, чтобы не ухудшать природно-

геологическую обстановку и не вызывать тяжелых, нежелательных последствий.

Возникновение и развитие новых геодинамических процессов и явлений антропогенного типа будет ухудшать и удорожать строительство. Приведем несколько примеров.

При появлении оползней увеличение капитальных затрат составляет в среднем от 5 до 100% от стоимости объекта, при сдвижении пород на подрабатываемых территориях удорожание составляет 5—7%, в условиях оврагообразования — 10—20%, при снижении уровня грунтовых вод — 0.3—1,5% и т. д. При планировке в обход непригодных участков, занимающих 15—30% площади, затраты увеличиваются на 0,3—1,5%.

Инженерно-геологические условия удорожают не только строительство, но и эксплуатацию зданий и сооружений. Учитывая большую стоимость отдельных зданий (от сотен тысяч до десятков миллионов рублей) и огромную стоимость городов в целом (сотни миллионов — миллиарды рублей), указанное увеличение затрат приобретает большое экономическое значение.

Недостаточное внимание изыскателя и проектировщика к антропогенным изменениям природной геологической среды порождает просчеты и ошибки в оценках, прогнозах и рекомендациях. Важно разобраться в характере антропогенных изменений, отличить обратимые от необратимых, проявленные от скрытых.

Особенно опасен недоучет скрытых и обратимых изменений, так как это часто приводит к деформациям и авариям зданий и сооружений. Нередко временно искусственно сниженные уровни подземных вод принимаются за естественные и стабильные уровни и вводятся в расчеты и проект и здание строится для безводных условий. После окончания строительства подвалы зданий, подземные сооружения затапливаются, несущая способность грунтов основания снижается, появляются неравномерные осадки, деформации, сокращается срок службы зданий и сооружения.

Так же вредны и обратные случаи, когда временно искусственно повышенные уровни принимаются за естественные. Это удорожает строительство за счет неоправданных гидроизоляционных, дренажных устройств, искусственного занижения расчетных нагрузок на грунты и т. п.

Тяжелые и опасные последствия возникают при неправильном обосновании проектов районной планировки, генеральных схем размещения отраслей народного хозяйства и крупных промышленных комплексов как на ближайшие годы, так и на длительный срок при разработке планов развития этих районов.

Изыскателям и проектировщикам важно обеспечить рациональное использование территорий при размещении населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, инженерных сооружений, транспорта, гидротехнических и энергетических узлов, водохранилищ.

Примеров ошибок и неудач, в результате которых приходилось переносить города, промышленные комбинаты, рудники, дороги и другие сооружения, много. Это миллионы и миллиарды рублей бесполезных затрат.

Изыскатели и проектировщики должны осуществлять следующую стратегическую линию в борьбе за улучшение охраны природы.

1. Нарушение равновесий и изменения среды неизбежны, однако не следует допускать вредных и опасных по своим последствиям.

2. Постепенно переходить от защиты отдельных участков и районов к охране всего природного окружения в системе расселения с установлением дифференцированного режима природопользования.

3. Не рекомендовать строительство в существующих и будущих зонах отдыха, заповедниках, местах туризма, имеющих историческое значение (за исключением строительства, обслуживающего отдых, туризм и пр.).

4. Рекомендовать создание искусственной геологической среды, улучшение природных условий. Сюда входит: озеленение, обводнение, создание искусственных форм рельефа, рекультивация земель, мелиорация климата, атмосферы, гидросферы, борьба с неблагоприятными геологическими процессами и явлениями, применение комплексных инженерно-геологических мелиораций; улучшение санитарно-гигиенических, инженерно-геологических и эстетических условий среды обитания и жизнедеятельности человека, улучшение городского ландшафта, создание гармонии города с окружающей средой.

5. Изыскатель и проектировщик должны быть осведомлены в вопросах теории, практики и законодательства в области охраны природы и улучшения геологической среды, чтобы не допускать просчетов и ошибок.

6. При изысканиях для строительства города, поселка, промышленного комплекса, рудника, отдельного сооружения необходимо предвидеть и прогнозировать изменение природной обстановки, возникновение антропогенных геологических процессов в результате включения объекта в окружающую среду и предусматривать в случае необходимости меры профилактики и борьбы с нежелательными явлениями.

Нередко архитектурно-планировочные и инженерные решения вносят дисгармонию во взаимодействие сооружений и окружающей природной среды и деградацию природного ландшафта. Особое внимание должно уделяться крупным строительствам (БАМ, Каракумский канал, КМА и др.).

В зоне влияния грандиозной стройки мира — Байкало-Амурской магистрали — протяженностью 3520 км прогнозируется развитие ряда геологических процессов и явлений: термокарста, солифлюкции, наледей, термопросадок, морозного пучения, оползней, обвалов, оплывин и других изменений окружающей среды, в связи с чем разрабатываются и осуществляются необходимые природозащитные мероприятия. Трасса БАМ в значительной части проходит в области многолетней мерзлоты, и на некоторых участках отмечаются процессы деградации и агградации мерзлоты и изменения сейсмичности на 1—2 балла.

7. В городах, испытывающих дефицит свободных земель, приходится застраивать пустующие земли. Непригодные по естественным условиям земли (оползни, обвалы, осыпи, сели, карст, болота, овраги и пр.) в СССР в среднем составляют 10—15%, в отдельных городах достигают 35—40%. Задача превращения непригодных земель в пригодные имеет большое государственное значение и требует дополнительных исследований, разработки научно обоснованных рекомендаций по инженерной подго-

товке и мелиорации этих земель. Стоимость инженерной подготовки обычно составляет 1—1,5% от общей стоимости градостроительства, а в тяжелых условиях достигает 3%. Однако эти затраты будут компенсироваться экономией средств при строительном освоении территорий, обеспеченных дорогами, подземными коммуникациями и другими видами благоустройства.

8. Более выгодно и эффективно предупреждать нежелательный антропогенный процесс, чем вести с ним борьбу; профилактические мероприятия имеют большое значение.

9. Не применять мелиорации, которые порождают новые нежелательные антропогенные явления.

10. Рациональное комплексирование мероприятий повышает эффективность и надежность инженерно-геологических мелиораций.

11. При выборе мероприятий следует учитывать их обратимость, радиус и срок действия.

12. Мероприятия по улучшению геологической среды более предпочтительны те, что дешевле и надежнее.

13. Вести поиски и внедрять принципиально новые средства борьбы с отрицательными антропогенными геологическими процессами и явлениями и инженерной защиты территорий, зданий и сооружений. Проекты мер профилактики и борьбы составлять на основе предварительных инженерных изысканий.

14. Инженерно-геологическому обоснованию и инженерной подготовке территорий следует уделять большое внимание, поскольку удельный вес затрат на инженерное оборудование достигает 25—30%, а в перспективе увеличится до 40 % от стоимости всего градостроительства.

15. Инженерно-геологические рекомендации по предупреждению и борьбе с отрицательно действующими антропогенными геологическими процессами должны находить отражение в проектах всех стадий проектирования.

16. Охрана природы в городах иногда требует применения не только локальных, местных, но и крупноплощадных, региональных и даже глобальных мероприятий, так как влияние города нередко выходит за пределы его границ.

17. Современный научно-технический прогресс (НТП) имеет позитивную и негативную стороны. Стихийно развивающийся НТП может вызывать отрицательные последствия, ухудшать природную среду, экологию городов. В развитии НТП должна предусматриваться забота о человеке, о его жизненной среде.

18. Научно обоснованное природопользование — это умение управлять ландшафтами. Нельзя допускать деградацию ландшафта. В. И. Ленин писал: «...техника с невероятной быстротой развивается в наши дни, и земли, непригодные сегодня, могут быть сделаны завтра пригодными...» *.

19. Антропогенный «бедленд» («дурные земли») занимают 3% суши. Рекультивация земель, залечивание ран в окружающей среде требует широкого применения инженерно-геологических мелиораций — улучшения инженерно-геологических условий.

---

* В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 27, с. 381.

20. Инженерно-геологические мелиорации включают широкий комплекс тех инженерных мероприятий, которые устраняют, ослабляют или предупреждают все то, что ухудшает окружающую среду, затрудняет строительство и эксплуатацию зданий и сооружений, хозяйственное использование и благоустройство территорий. При их проведении следует учитывать не только происходящие, но и ожидаемые (прогнозируемые) геологические процессы и явления. Имеется много апробированных практикой способов и технических средств улучшения инженерно-геологической среды: закрепление грунтов, регулирование режима поверхностных и подземных вод, вертикальная планировка рельефа, рекультивация земель, нарушенных открытыми горными выработками и отвалами, борьба с оползнями, осыпями, обвалами, эрозией, абразией, селями, карстом, суффозией, геокриогенными процессами и др.

21. Рекомендовать наиболее приемлемые и эффективные в местных условиях способы инженерно-геологической мелиорации. Эти рекомендации и инженерно-геологическая карта неблагоприятных участков (карта планировочных ограничений) используются архитекторами и проектировщиками для составления генсхемы инженерной подготовки территории, дополняющей генплан города.

22. При вертикальной планировке города избегать сплошного нивелирования рельефа, по возможности максимально сохранять и улучшать живописность ландшафта, создавать искусственный антропогенный микрорельеф.

23. Избегать уничтожения мелкой гидрографической сети (рек, озер, прудов) и растительного покрова, благоустраивать существующие и создавать новые водоемы и зеленые массивы.

24. На решение проблемы охраны и улучшения природы должна быть направлена деятельность службы инженерных изысканий, производственных и научных организаций. На всех этапах и стадиях инженерных изысканий должны учитываться вопросы охраны природы и улучшения геологической среды: при сборе и систематизации материалов прежних изысканий, создании СИФ (справочно-информационных фондов), ИПС (информационно-поисковых систем) перфокарт, перфолент и т. п.; при проведении полевых, разведочных, опытных, стационарных и лабораторных исследований.

При оценке инженерно-геологических условий строительства следует вводить в расчеты различные параметры антропогенных изменений компонентов геологической среды.

При совершенствовании инженерно-геологического прогнозирования необходимо больше внимания уделять долгосрочным, перспективным, региональным и глобальным прогнозам, теория и методика которых разработаны еще недостаточно.

Экспертиза проектов строительства должна быть направлена на соблюдение природоохранных мероприятий.

Необходимо воспитывать у изыскателей повышенное внимание к проблеме улучшения охраны природы и рационального использования природных ресурсов. Проводить переподготовку изыскателей по вопросам природопользования.

Следует расширить фронт научных исследований по данной проблеме. Повысить роль научно-исследова-

тельских институтов и вузов в разработке теоретических и методических аспектов проблемы изменения окружающей среды под влиянием деятельности человека.

Инженерной геологии принадлежит большая роль в решении задач в области рационального использования Земли как среды обитания и жизнедеятельности человека.

В СССР охрана природы стала всенародным делом. Большую и полезную работу выполняет Всероссийское общество охраны природы, насчитывающее более 35 млн. членов. СССР сотрудничает в международных организациях по охране окружающей среды, участвует в выполнении ряда международных конвенций, договоров и соглашений.

Заключение

На арену истории Земли вышел новый могучий геологический фактор, новая планетарная геологическая сила — человек.

Человечество, вооруженное мощной техникой, все интенсивнее стало влиять на геологическую жизнь Земли, изменять геологическую среду. Рабовладельческое, феодальное и капиталистическое общество породило стихийное природопользование. Культ наживы, бизнеса, войн привел к расхищению природных ресурсов, ухудшению природного ландшафта, обеднению природы.

В странах социализма идут от конфликта с природой к управлению природными процессами через познание их закономерностей. В «Диалектике природы» Ф. Энгельс писал: «И так на каждом шагу факты напоминают нам о том, что мы отнюдь не властвуем над природой так, как завоеватель властвует над чужим народом, ... все наше господство над ней состоит в том, что мы, в отличие от всех других существ, умеем познавать ее законы и правильно их применять» *.

Появилась ноосфера — детище ума, рук и техники человека. Ноосфера — естественноисторическая категория, объективно существующая и развивающаяся внутри биосферы.

В истории Земли наступил новый, антропогенный этап в ее развитии, знаменательный тем, что из всех природообразующих факторов человеку стала принадлежать значительная роль в круговороте материи и энергии, в геологической жизни планеты.

Перечислим главные результаты выполненных автором исследований и то новое и существенное, что внесено им в состояние проблемы взаимодействия человека и природной геологической среды.

1. Обобщены многолетние исследования автора с привлечением отечественных и зарубежных материалов.

2. На новом материале развивается учение академиков В. И. Вернадского, А. Е. Ферсмана, А. П. Виноградова, А. В. Сидоренко и других ученых о ноосфере, о человеке как геологическом факторе и о его роли в изменении геологической среды.

3. Изложены основные теоретические положения о взаимодействии человека и природной среды.

4. Главное внимание уделено изменению геологической среды, которая явилась основным объектом исследования. Однако, исходя из основополагающего тезиса о единстве природы, взаимосвязи и взаимообусловленности компонентов природной среды, автор не мог обойти в своем анализе такие ее компоненты, как атмосфера, биосфера, поверхностная гидросфера, почвы, климат и др., которые влияют на геологическую среду, формируют ее состояние и свойства. Антропогенные изменения взаимосвязаны, их нельзя рассматривать в отрыве друг от друга.

5. Подробно рассмотрены изменения подземной гидросферы верхних слоев литосферы. В совокупности они образуют геологические условия, поэтому автор условно атмосферу,

* К. Маркс, Ф. Энгельс. Соч. Изд. 2-е, т. 20, с. 496.

растительный и почвенный покров, поверхностную гидросферу отнес к геологической среде, хотя, строго говоря, к ней относятся рельеф, породы, подземные воды и геологические процессы и явления. Эту комплексную и сложную проблему — изменение геологической среды — узко рассматривать невозможно.

6. Впервые обобщены и рассмотрены антропогенные изменения таких природных геологических процессов и явлений, как выветривание пород, обвалы, осыпи, сели, оползни, эрозия, абразия, карст, заболачивание и дефляция. Автор не освещал отдельно антропогенные изменения пород, а учел их при характеристике процессов, которые в сущности выражают изменение состояния и свойств пород.

7. Также впервые на большом фактическом материале обобщены антропогенные геологические процессы и явления. Они рассмотрены как функция, как материализованное проявление ноосферы. Разработаны теоретические аспекты антропогенной инженерной геодинамики, дана классификация и характеристика антропогенных геологических процессов и явлений.

8. Исследованы основные закономерности формирования и распространения антропогенных геологических процессов и явлений.

9. Освещены в инженерно-геологическом аспекте вопросы охраны природы и улучшения геологической среды.

Существуют серьезные разногласия по ряду принципиальных теоретических вопросов данной проблемы. Многие буржуазные футурологи (Д. Форрестер, Д. Медоуз, Ж. Дорст и др.) предвещают демографический взрыв, быстрое истощение ресурсов, самоотравление человечества, гибель цивилизации и в связи с этим выступают с реакционными призывами типа «назад к прошлому», «долой индустриализацию», «затормозить НТП» и т. п. Однако причина не в научно-техническом прогрессе, а в капиталистическом общественно-социальном строе, поощряющем хищническое природопользование. Буржуазные футурологи призывают вернуться от «homo mechanicus» к «homo sapiens», полагая, что техника губит человечество. Марксисты утверждают обратное: НТП может служить надежным инструментом в улучшении окружающей среды; не техника, а социальное зло губит человечество.

Не все ученые принимают термин «ноосфера», усматривая в нем нечто идеалистическое (ноос — разум), отрыв сознания от материи, от планеты Земля. Предлагают и другие термины: техносфера, антропосфера, социосфера, биогеносфера, биотехносфера, стихосфера (от греческого слова stoicheion — стихия) и пр.

Автор считает лучшим термин «ноогеосфера», который отражает соединение сферы разума с Землей и, таким образом, материализирует, не отрывает ее от Земли. Это нисколько не противоречит пониманию В. И. Вернадским сущности ноосферы, а лишь терминологически дополняет. Еще более совершенным автору представляется термин «ноотехногеосфера»; в нем выражен синтез сфер разума, техники и Земли. Этот термин более емкий, охватывающий главные направления нового геологического этапа в развитии Земли. Другие термины, приведенные выше, страдают некоторой узостью. Различно понимается «окружающая среда», причем специалисты, трак-

туя этот термин, часто впадают в крайность (недопустимо узкое толкование «среды»). Например, некоторые градостроители в понятие «окружающая среда» включают лишь городские здания и сооружения, атмосферу, растительный покров, почвы, водоемы. Тогда как в среду города входят, кроме того, рельеф, грунты, на которых строятся здания и сооружения, подземные воды, современные геологические процессы, оказывающие влияние на жизнь города, и т. п.

Окружающая среда — очень широкое, всеохватывающее понятие; это все то, что нас окружает.

В науке выделяется макро-, мезо-, микросреда, и в этом есть определенный смысл и необходимость.

Различаются географическая, геологическая, экологическая, экономическая, социальная и другие среды. «Геологическая среда, — как пишет А. В. Сидоренко, — не просто научное понятие, это та реальная физическая обстановка, в которой проходит жизнь и деятельность человека» [145, с. 54].

В. Д. Ломтадзе определяет геологическую среду так: «Каждая территория на Земле с ее рельефом, геологическими образованиями, процессами и явлениями представляет собой геологическую среду жизни и деятельности человека. Короче, геологическая среда — это окружающие нас геологические условия» [89, с. 4].

По-разному определяется генезис, связанный с деятельностью человека: техногенез, ноогенез, антропогенез. Автору представляется более удачным термин «ноотехногенез», синтезирующий влияние разума и техники. Термин «антропогенез» привлекает своей широтой и емкостью. Большая пестрота наблюдается в определении геологического процесса, вызванного и связанного с деятельностью человека. Употребляются следующие термины: антропогенный, техногенный, биогенный, инженерно-геологический, инженерно-географический, инженерно-гидрогеологический, агротехнический, гоминидогенный, искусственный, индустриальный, агрогеологический и др.

Автор в предыдущих работах пользовался термином «инженерно-геологические процессы» и примерно с конца 50-х годов стал применять термин «антропогенные процессы» как более универсальный и емкий, охватывающий не только инженерную, но и все остальные виды деятельности человека, изменяющие геологическую среду.

Некоторые исследователи (Николаев [104], Ломтадзе [89]) выступили против выделения инженерно-геологических процессов. Н. И. Николаев признавал инженерно-геологические процессы как особую генетическую разновидность в семействе геологических процессов, их количественную специфичность, но отрицал качественное отличие от природных.

С критикой концепции Н. И. Николаева автор выступил в 1963 г. в статье «Взаимосвязь природных геологических и инженерно-геологических процессов и явлений» [63]. В 1976 г. В. Д. Ломтадзе на Всесоюзной конференции по инженерной геологии в Ленинграде решительно выступил против выделения инженерно-геологических процессов, считая, что они не существуют, а есть только природные геологические процессы и явления. Отметим, что инженерно-геологические процессы и явления как осо-

бую генетическую категорию геологических процессов изучали, признавали и описывали все ведущие специалисты в области инженерной геологии (Ф. П. Саваренский, Г Н. Каменский, И. В. Попов, В. А. Приклонский, Е. М. Сергеев, Н. В. Коломенский. П. Н. Панюков, З. А. Макеев, М. П. Семенов. М. В. Чуринов, Е. П. Емельянова, Н. И. Кригер, В. Л. Дубровкин, Л. Д. Белый, Л. Б. Розовский, Г. А. Мавлянов и многие другие). Читателям, желающим подробнее ознакомиться с этим вопросом, автор рекомендует свою статью [63].

Ведется дискуссия по вопросу о том, какая наука должна возглавить изучение взаимодействия природы и общества, человека и окружающей среды. Называют географию, инженерную геологию, социологию, философию, экологию, теоретическую физику и др. Очень много предложений в отношении новой синтетической науки будущего: конструктивная география (И. П. Герасимов), техническая геология (А. В. Сидоренко), антропогеология (Ф. В. Котлов), геотехнология, геосоциология, глобальная экология, ноология, техногеология (Р. К. Баландин), идеальнология (И. Забелин), ноосферология, натурсоциология, биоэкономика, биогеоэкономика, геоэкономика, природопользование и др.

Поскольку проблема взаимодействия человека и природы многогранная, многоплановая, одной какой-либо из этих наук не под силу ее решение. Возможно, что появится «сплав» наук — единая синтетическая наука, которая объединит изучение всех граней, всех сторон этой комплексной и сложной проблемы. Неизбежность синтеза предполагал в свое время К. Маркс: «... впоследствии естествознание включит в себя науку о человеке в такой же мере, в какой наука о человеке включит в себя естествознание: это будет одна наука» *.

В вопросах методологии идейно-теоретической основой такой науки, безусловно, будет марксистско-ленинская философия.

Инженерная геология исторически занимается изучением окружающей среды, взаимодействия человека и воздвигаемых им сооружений с геологической средой, геодинамикой земной коры. На Всесоюзной конференции по инженерной геологии (Тбилиси, 1972 г.) признана важнейшей задачей инженерной геологии «разработка геологических основ решения проблемы охраны и преобразования природы» [50, с. 10].

Проблемам инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды была посвящена также Всесоюзная конференция по инженерной геологии, состоявшаяся в 1976 г. в Ленинграде [125].

В рекомендациях этой конференции записано: «Конференция считает необходимым расширить фронт научных исследований по проблемам инженерной геологии, связанным с вопросами рационального использования и охраны геологической среды, как основы для планирования защиты территорий и недр земли, жизни и деятельности человека от вредного влияния геологических процессов и явлений» [125, с. 6].

Инженерная геология вносит существенный вклад в решение важнейшей проблемы века — охраны и преобразования геологической среды.

---

* К. Маркс, Ф. Энгельс. Из ранних произведений. М., Политиздат, 1956, с. 596.

Основой научных исследований по проблеме взаимодействия человека и геологической среды служат решения Партии и Правительства и законодательство СССР по вопросам охраны природы и рационального использования природных ресурсов.

Задачи дальнейших научных исследований:

1. Необходимо всемерно расширять фронт теоретических, методических и региональных исследований по проблеме, вовлекать в эту работу новые научные коллективы. Развивать учение В. И. Вернадского о ноосфере в свете марксистско-ленинской теории.

2. Развивать антропогенные направления в системе геологических наук.

3. Разрабатывать теорию и методы научного прогноза антропогенных изменений земной коры под влиянием различных видов деятельности человека; теорию и методы управления, предупреждения и борьбы с отрицательно действующими антропогенными геологическими процессами и явлениями.

4. Разрабатывать теоретические основы и способы комплексных инженерно-геологических мелиораций. Более углубленно изучать физическую природу, специфику и закономерности формирования антропогенных геологических процессов и явлений и влияния на их развитие региональных геологических, зонально-климатических условий и характера деятельности человека. Сосредоточить внимание на изучении антропогенных изменений физических полей Земли.

5. Расширять стационарные наблюдения за антропогенными изменениями геологической среды и развитием геологических процессов и явлений.

6. Осуществлять опережающие инженерно-геологические исследования трудно осваиваемых природных зон Земли в связи с предстоящим их строительным и хозяйственным освоением.

7. Способствовать повышению качества инженерно-геологического обоснования генеральных схем размещения производительных сил, расселения людей, проектов районной планировки, генеральных планов городов, проектов детальной планировки и застройки.

8. Разрабатывать теоретические основы и методику перспективных, долгосрочных и срочных, общих и частных, количественных и качественных, глобальных, региональных и местных инженерно-геологических прогнозов изменений геологической среды.

9. В свете основных направлений перспективного плана развития народного хозяйства очень важно сосредоточить внимание на долгосрочном прогнозировании ожидаемых региональных и крупноплощадных антропогенных изменений природной геологической среды.

10. Смелее и быстрее внедрять математические методы в инженерную геодинамику, развивать натурное, лабораторное и математическое моделирование, ЭВМ, применять балансовые расчеты, определять количественную роль отдельных природных и антропогенных факторов в изменениях среды и формировании геологических процессов и явлений, усовершенствовать расчетные модели и методы расчета, создавать автоматизированные системы управления окружающей средой (АСУ).

11. Изучать положительный и отрицательный опыт работ по охране природы и рекультивации земель.

12. Шире вести пропаганду результатов научных исследований в специальной научной литературе, журналах и газетах, на выставках, по радио и телевидению. На эту сторону большое внимание обращал В. И. Вернадский. Больше создавать крупных обобщающих монографических работ по проблеме «Человек и геологическая среда».

13. Расширять международное сотрудничество в научных исследованиях.

В перспективе ожидается усиление влияния человека на окружающую среду. В условиях социалистического общества это влияние все больше будет становиться сознательным и рациональным, направленным на улучшение природы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авакян А. Б.* Проблемы комплексной эксплуатации водохранилищ. — «Изв. АН СССР. Сер. географ.», 1966, № 4, с. 54—64.

2. *Ананичев К. В.* Проблемы окружающей среды. энергии и природных ресурсов. Международный аспект. М., «Прогресс», 1974. 167 с.

3. *Арманд Д.Л.* Нам и внукам. Изд. 2-е. М., «Мысль», 1966. 254 с.

4. *Арманд Д. Л.* О некоторых закономерностях и проявлениях эрозии. — В кн.: Современные экзогенные процессы рельефообразования. М., 1970, с. 83—87 с ил.

5. *Баландин Р. К.* Планета обретает разум. Минск, «Наука и техника», 1969. 168 с. с ил.

6. *Бахурин И. М.* Сдвижение горных пород под влиянием горных разработок. М., Гостоптехиздат, 1946. 231 с. с ил.

7. *Боже-Гарнье Ж., Шабо Ж.* Очерки по географии городов. М., «Прогресс», 1967. 424 с. с ил.

8. *Бондарик Г. К.* Проблема пространственного прогноза инженерно-геологических свойств пород на базе представлений теории изменчивости. — В кн.: Вопросы инженерной геологии. Докл. сов. ученых к Междунар. конгрессу МАИГ. М., 1970, с. 333—339, с ил.

9. *Брайчевский М.* Змиевые валы, Вам слово. — «Знание — сила», 1972, № 7, с. 26—27 с ил.

10. *Бугай А. С.* Валы открывают свои секреты. — «Знание — сила», 1972, № 7, с. 28—29 с ил.

11. *Будыко М. И.* Антропогенные влияния на климат и пути его преобразования. — В кн.: Природа и общество. М., 1968, с. 254—258.

12. *В 2017 году...* Под ред. Б. Буркова. М., Изд-во АПН, 1968. 340 с.

13. *Вендров С. Л.* О масштабах преобразования природы крупными водохранилищами. — «Изв. Всесоюз. географического о-ва», 1959, т. 91, вып. 4, с. 336—341.

14. *Вернадский В. И.* Очерки геохимии. Изд. 4-е. М.—Л., Горгеонефтеиздат, 1934. 356 с.

15. *Вернадский В. И.* Биогеохимические очерки. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1940. 249 с.

16. *Вернадский В. И.* Несколько слов о ноосфере. — «Успехи современной биологии», 1944, т. XVIII, вып. 2, с. 113—121.

17. *Вернадский В. И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., «Наука», 1965. 374 с. с ил.

18. *Виноградов А. П.* Технический прогресс и защита биосферы. — «Коммунист», 1973, № 11, с. 58—67.

19. *Влияние* инженерно-геологических и гидрогеологических условий на градостроительство. Под ред. Ф. В. Котлова. Докл. к конф. «Климат — город — человек». М., Гидрометеоиздат, 1973. 94 с.

20. *Воейков А. И.* Воздействие человека на природу. М., Географиз, 1949. 255 с.

21. *Вопросы* инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания. М., Изд-во МГУ, 1971. 358 с. с ил.

22. *Вопросы* инженерной геологии при проектировании, строительстве и эксплуатации подземных сооружений, шахт и карьеров. Тезисы докл. Л. Вып. 1—1969, 160 с., вып. 2—1970, 165 с. (Географическое общество СССР).

23. *Гавшина З. П.* Влияние инфильтрации производственных стоков на химический состав грунтовых вод территорий промышленных предприятий. — «Инженерные изыскания в строительстве», 1973, сер. 2, вып. 1 (19), с. 5—12.

24. *Гармонов И. В., Конопляцев А. А., Котлов Ф. В.* Оседания земной поверхности в связи с интенсивной откачкой подземных вод, эксплуатацией месторождений нефти и газа. М., 1965. 61 с. (Некот. воп. теории прогноза оседания. Обзоры по отдельным проблемам. Вып. 17. ОНТИ ВИЭМС.)

25. *Гвоздецкий Н. А.* Проблемы изучения карста и практика. М., «Мысль», 1972. 392 с.

26. *Герасимов И. П.* Советская географическая наука и проблемы преобразования природы. — «Изв. АН СССР. Сер. географическая», 1961, № 5, с. 6—18.

27. *Герасимов И. П.* Научно-технический прогресс и география. — «Мат-лы V съезда Географического общества СССР», 1970, т. 13, с. 3—23.

28. *Герасимов И. П.* Вернадский — создатель научной концепции биосферы. — В кн.: Ресурсы биосферы на территории СССР. М., 1971, с. 8—10.

29. *Гидрогеология* СССР. Сводный том в пяти выпусках. Вып. 4. Влияние производственной деятельности человека на гидрогеологические и инженерно-геологиче-

ские условия. М., «Недра», 1973. 278 с.

30. *Глушко Я. М., Лазарев Н. В.* Человечество как геологический фактор. — В кн.: Введение в геогигиену (география и гигиена). М.—Л., 1966.

31. *Горшков С.* Ответственность за геологическое будущее. — «Знание — сила», 1969, № 12, с. 6—8.

32. *Грунтоведение.* Изд. 4-е. М., Изд-во МГУ, 1973. 386 с. с ил. Авт.: Е. М. Сергеев, Г. А. Голодковская, Р. С. Зиангиров и др.

33. *Гумилевский Л. И.* Вернадский. М., «Молодая гвардия», 1961. 312 с. с ил. («Жизнь замечательных людей», вып. 11 (325).

34. *Дементьев С., Кудрявцев В., Левкович А.* Диктует вечная мерзлота. — «Правда», № 209 от 28/VII 1974 г.

35. *Дзердзеевский Б. Л.* О преобразовании климата. — В кн.: Природа и общество. М., 1968, с. 235—254.

36. *Докучаев В. В.* Овраги и их значение. — «Труды Вольного экономического общества», 1877, т. 3, вып. 2, с. 167—178.

37. *Докучаев В. В.* Избранные сочинения. Т. 2. Труды по геологии и сельскому хозяйству. М., Сельхозгиз, 1949. 426 с. с ил.

38. *Дорст Ж.* До того как умрет природа. Пер. с франц. М., «Прогресс», 1968. 415 с. с ил.

39. *Достовалов Б. Н., Кудрявцев В. А.* Общее мерзлотоведение. М., Изд-во МГУ, 1967. 404 с. с ил.

40. *Емельянова Е. П.* Основные закономерности оползневых процессов. М., «Недра», 1972. 310 с.

41. *Жданов Ю.* Воздействие человека на природные процессы. М., «Молодая гвардия», 1952. 64 с.

42. *Захаров Ю. Ф.* Крепка ли крыша залежей? — «Тюменская Правда», № 7 (6861) от 9 января 1969 г.

43. *Зенкович В.* Остановите море. — «Известия», № 57 от 7 марта 1967 г.

44. *Инженерно-геологические* и гидрогеологические проблемы градостроительства. Под ред. Ф. В. Котлова, Н. И. Кригера, Е. С. Дзекцера. Докл. к конф. «Климат — город — человек». М., Гидрометеоиздат, 1974. 192 с.

45. *Инженерно-геологические* проблемы градостроительства. Материалы Научно-технич. совещания в г. Баку, 1971 г. Под ред. Ф. В. Котлова. М., Изд-во МГУ, 1971. 214 с.

46. *Инженерно-геологическое* изучение обвалов и других гравитационных явлений на горных склонах. М., Изд-во МГУ, 1969. 189 с.

47. *Инженерная* геология и градостроительство. Под ред Ф. В. Котлова и Н. И. Кригера. Мат-лы научно-техн. совещ. в г. Баку в 1971 г. М., Изд-во МГУ, 1973. 206 с.

48. *Инженерная* деятельность человека и геологическая среда. Под ред. Ф. В. Котлова, Н. И. Кригера, Е. С. Дзекцера. Сб. 1. Мат-лы Всес. межвед. конф. «Климат — город — человек». М., Моск. университет, 1976. 170 с.

49. *Инженерные* изыскания в строительстве. Под ред. Ф. В. Котлова, М. К. Рзаевой, З. Т. Киселевой. Инженерно-геологический анализ эффективности противооползневых мероприятий на Южном берегу Крыма. М., 1973. 89 с. (Реф. сб., вып. 4 (22)).

50. *Информационное* сообщение и решение Всесоюзной конференции по инженерной геологии. Тбилиси, 1972. 12 с. (Грузинский политехнический институт).

51. *Калашников Б. А., Черкасов М. И., Рослова Е. П.* Деформации зданий в процессе набухания — усадки грунтов основания. — В кн.: Строительство на набухающих грунтах. М., 1972, с. 128—129.

52. *Каменский Г. Н.* Предмет инженерной геологии как науки. — «Изв. АН СССР, сер. геол», 1936, № 1, с. 223—229.

53. *Качугин Е. Г.* Геологическое изучение динамики берегов водохранилищ. М., «Наука», 1975. 147 с. с ил.

54. *Коломенский Н. В.* Роль человека в выветривании горных пород. — «Труды Лаборатории гидрогеол. проблем им. Ф. В. Саваренского АН СССР», 1948, т. 3, с. 356—359.

55. *Короткевич Г. В.* Соляной карст. Л., «Недра», 1970. 255 с. с ил.

56. *Косов Б. Ф.* Овражная эрозия в СССР и пути ее преодоления. — «Вестн. МГУ. Сер. географ.», 1957, № 4, с. 203—211.

57. *Косов Б. Ф., Константинова Г. С.* Комплексная карта овражности равнинной территории СССР. — «Геоморфология», 1973, № 3, с. 3—10 с ил.

58. *Котлов Ф. В.* Культурный слой г. Москвы и его инженерно-геологическая характеристика. — В кн.: Очерки гидрогеологии и инженерной геологии Москвы и ее окрестностей. М., 1947, с. 3—117 с ил.

59. *Котлов Ф. В.* Способы улучшения инженерно-геологических условий строительства. М., Изд-во АН СССР, 1955. 196 с. с ил.

60. *Котлов Ф. В.* Роль человека в преобразовании природы. — В кн.: Труды II Узбекистанского гидрогеологического совещания. Ташкент, 1959, с. 258—276.

61. *Котлов Ф. В.* Геологические процессы и явления, связанные с деятельностью человека, и их значение для гидрогеологии и инженерной геологии. — В кн.: Проблемы гидрогеологии. М., 1960, с. 343—356.

62. *Котлов Ф. В.* Изменения природных условий территории Москвы под влиянием деятельности человека и их инженерно-геологическое значение. М., Изд-во АН СССР, 1962. 264 с. с ил.

63. *Котлов Ф. В.* Взаимосвязь природных геологических и инженерно-геологических процессов и явлений. — В кн.: Природные физико-геологические и инженерно-геологические процессы и явления. М., Изд-во АН СССР, 1963а, с. 4—33 с ил.

64. *Котлов Ф. В.* Классификация антропогенных отложений. — В кн.: Инженерно-геологические процессы и явления и их значение для строительства. М., 1963б, с. 9—14.

65. *Котлов Ф. В.* О региональном характере распространения некоторых инженерно-геологических явлений. — В кн.: Природные физико-геологические и инженерно-геологические процессы и явления. М., Изд-во АН СССР, 1963в, с. 54—76 с ил.

66. *Котлов Ф. В.* Классификация инженерно-геологических процессов и явлений. — В кн.: Материалы научно-технической конференции по инженерным изысканиям, 11—15 мая 1967 г. М., 1967, с. 119—128. (ПНИИИС Госстроя СССР).

67. *Котлов Ф. В.* К теории инженерно-геологических процессов и явлений. — В кн.: Материалы научно-технической конференции, 21—24 мая 1968 г. М., 1968, с. 61—64. (ПНИИИС Госстроя СССР).

68. *Котлов Ф. В.* Антропогенные геологические процессы и явления. — В кн.: Вопросы инженерной геологии. Докл. сов. ученых к Междунар. конгрессу Междунар. ассоциации инженеров-геологов. М., 1970а, с. 132—141 (ВИНИТИ).

69. *Котлов Ф. В.* Инженерно-геологические процессы и явления и закономерности их формирования. — В кн.: Проблемы инженерной геологии. М., 1970б, с. 184—188.

70. *Котлов Ф. В.* Закономерности изменения природной геологической среды на территории городов. — В кн.: Гидрогеология и инженерная геология. Междунар. геолог. конгресс, XXIV сессия. Докл. сов. геологов. М., 1972а, с. 115—126.

71. *Котлов Ф. В.* Роль антропогенных факторов в формировании инженерно-геологических свойств глинистых пород. Труды Межд. симпозиума (14—24/IX 1971 г.). — В кн. Инженерно-геологические свойства глинистых пород и процессы в них. М., 1972б, вып. 1, с. 183—197.

72. *Котлов Ф. В.* Антропогенный литогенез. — В кн.: Генетические основы инженерно-геологического изучения горных пород. Труды Междунар. конференции (4—6 июня 1974 г., г. Москва). М., 1976а, с. 49—60.

73. *Котлов Ф. В.* Влияние города на геологическую среду. — В кн.: Материалы Всесоюзной конференции «Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды». Тема 4. Под ред. В. Д. Ломтадзе. Л., 1976б, с. 6—22. (Институт инженерных изысканий Госстроя Литовской ССР).

74. *Котлов Ф. В.* Задачи инженерно-геологических изысканий в связи с охраной и улучшением природной геологической среды. — В кн.: Материалы Всесоюзной конференции «Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды». Тема 1. Под ред. В. Д. Ломтадзе. Л., 1976в, с. 22—25. (Ленинградский горный институт).

75. *Котлов Ф. В.* Инженерно-геологическая классификация антропогенных отложений. — В кн.: Инженерная деятельность человека и геологическая среда. Сб. 1. Мат-лы Всес. межвед. конференции «Климат — город — человек». М., 1976 г., с. 15—41.

76. *Котлов Ф. В.* Современные задачи инженерной геологии в связи со строительством и реконструкцией городов. — В кн.: Инженерная деятельность человека и геологическая среда. Сб. 1. Мат-лы Всес. межвед. конференции «Климат — город — человек». М., 1976д, с. 3—14.

77. *Котлов Ф. В.* Город и геологическая среда, закономерности их взаимодействия. — В кн.: Международный геологический конгресс. XXV сессия. Докл. сов. геологов. Геология четвертичного периода. Инженерная геология. Проблемы гидрогеологии аридной зоны. М., «Наука», 1976е, с. 254—263.

78. *Котлов Ф. В., Брашнина И. А., Сипягина И. К.* Город и геологические процессы. М., «Наука», 1967. 226 с. с ил.

79. *Котлов Ф. В., Снобкова А. И., Киселева З. Т.* Современные геологические

процессы и явления на территории Архангельска. — «Труды ПНИИС», 1975, вып. 32. с. 125—132.

80. *Кратцер П. А.* Климат города. Пер. с нем. М., изд-во иностр. лит., 1958. 238 с. с ил.

81. *Кригер Н. И.* Развитие представлений о техногенезе и геологической деятельности города. — В кн.: Инженерно-геологические и гидрогеологические проблемы градостроительства. М., 1971, с. 36—44.

82. *Кузьменко Н. Е.* Ирригационная эрозия почв и основы борьбы с ней. — В кн.: Экономические, правовые и социальные проблемы рационального использования и охраны земельных ресурсов УССР. Ч. 2. Киев, 1974, с. 47—50.

83. *Куракова Л. И., Рябчиков А. М.* Освоение и изменение ландшафтов суши. — «Вестник МГУ. Сер. география», 1967, № 5, с. 58—68.

84. *Куракова Л. И.* Беседы о природе, обществе и человеке. М., изд-во «Знание», 1975. 188 с.

85. *Лазарева И. В.* Восстановление территорий, нарушенных при добыче полезных ископаемых, для дальнейшего использования их в целях градостроительства. Автореф. канд. дис. М., 1963, с. 19. (ЦНИИП градостроительства).

86. *Лаппо Г. М.* Рассказы о городах. М., изд-во «Мысль», 1972. 191 с. с ил.

87. *Легетт Р.* Человек как геологический агент. — «Бюлл. МОИП. Отд. геол.», 1969, т. XI, вып. 1, с. 56—64.

88. *Легетт Р.* Города и геология. Пер. с англ. М., Изд-во «Мир», 1976. 557 с. с ил.

89. *Ломтадзе В. Д.* Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л., «Недра», 1977. 479 с. с ил.

90. *Львович М. И.* Водные ресурсы земного шара и их будущее. — «Изв. АН СССР. Сер. география», 1967, № 6, с. 31—47.

91. *Львович М. И., Коронкевич Н. И.* Ориентировочный прогноз использования и охраны водных ресурсов СССР на уровне 2000 г. — «Изв. АН СССР. Сер. география», 1971, № 2, с. 26—35.

92. *Максимович Г. А.* Основы карстоведения. Т. 1. Пермь, Пермское книжное издательство, 1963. 444 с. с ил.

93. *Масальский В.* Овраги черноземной полосы России, их распространение, развитие и деятельность. СПб, 1897, XVI. 327 с.

94. *Марш Г.* Человек и природа или о влиянии человека на изменение физико-географических условий природы. Пер. с англ. СПб, 1866, IX. 587 с.

95. *Мелиорация* земель в зоне влияния равнинных водохранилищ. Под ред. Н. П. Смирнова. Сборник мат-лов совещ., 14—15/V 1973 г. М., «Колос», 1974. 255 с. (ВАСХНИЛ).

96. *Мельников Н. В.* Будущие горные выработки. — В кн.: Рациональное использование земной коры. Мат-лы научн. совещ., Москва, 1972. М., 1974, с. 18—27.

97. *Мильков Ф. Н.* Человек и ландшафты. Очерки антропогенного ландшафтоведения. М., «Мысль», 1973. 224 с.

98. *Миронова Е. А.* Овражность территории СССР. — «Геоморфология», 1971, № 3, с. 25—36 с ил.

99. *Михайлов С. В.* Мировой океан и человечество. М., «Экономика», 1969. 397 с. с ил.

100. *Моторина Л. В.* Рекультивация земель, нарушенных промышленностью. — «Изв. АН СССР. Сер. география», 1966, № 5, с. 40—48.

101. *Муравьева К. А.* Человек и атмосфера. Л., 1974. 48 с. (Общество «Знание»).

102. *Науменко И. Н.* Механизм глубоких оползневых деформаций неогеновых отложений прибрежной зоны г. Одессы. Автореф. канд. дисс., 1975. 33 с. с ил. (ВСЕГИНГЕО).

103. *Никитин Н. В., Михальчук А. И., Травуш В. Н.* Исследование осадок фундамента телевизионной башни в Останкино. — «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1970, № 2, с. 32—35 с ил.

104. *Николаев Н. И.* Опыт построения классификации физико-географических процессов и явлений, имеющих инженерное значение. — «Вопросы географии». М., 1947, № 4, с. 3—13.

105. *Николаев Н. И.* Водохранилища и землетрясения. — «Изв. АН СССР. Сер. физика Земли», 1972, № 8, с. 113—117 с ил.

106. *Новиков Э. А.* Человек и литосфера. Л., «Недра», 1976. 159 с. с пл.

107. *Новожилов В. Н.* Рациональное использование недр и охрана окружающей среды при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. — «Зап. Ленинградского горного института», 1976, т. 70, вып. 2, с. 36—39.

108. *Оздоровление* окружающей среды городов. Сборник научных трудов. Под ред. С. Б. Чистяковой. М., 1973. 143 с. (ЦНИИП градостроительства).

109. *Оползни* Среднего и Нижнего Поволжья и меры борьбы с ними. Под ред. Е. В. Милановского и М. П. Семенова. М.—Л., 1935. 251 с. (ОНТИ).

110. *Охрана* подземных вод Украинской ССР от загрязнения и истощения. Мат-лы

I Республиканского научно-техн. совещания, 23—26 декабря 1969 г. Киев, «Наукова думка», 1970, вып. 1 — 101 с., вып. 2. — 88 с., вып. 3 — 64 с., вып. 4 — 63 с.

111. *Панюков П. Н.* Инженерная геология. М., Госгортехиздат, 1962. 343 с. с ил.

112. *Передельский Л. В., Ананьев В. П.* Набухание и усадка глинистых грунтов. Ростов-на-Дону, 1973. 144 с. с ил. (Ростовский инженерно-строительный институт).

113. *Печеркин И. А.* Геодинамика побережий Камских водохранилищ. Ч.I. Инженерно-геологические условия. Ч. II. Геологические процессы. Пермь, ч. I — 1966, 199 с. с ил.; ч. II — 1969, 308 с. с ил. (Пермский государственный университет).

114. *Пивоваров Ю. Л.* Современная урбанизация. Основные тенденции расселения. М., «Статистика», 1976. 190 с. с ил.

115. *Попов И. В.* Инженерная геология. Изд. 2-е. М., изд-во МГУ, 1959. 510 с. с ил.

116. *Попов И. В., Бондарик Г. К., Розовский Л. Б.* Задачи и методы долгосрочного прогноза инженерно-геологических условий. — В кн.: Рациональное использование земной коры. М., «Недра», 1974, с. 51—60 с ил.

117. *Приклонский В. А.* О геологических явлениях, вызываемых инженерной деятельностью человека. — «Труды Лабор. гидрогеол. проблем им. Ф. П. Саваренского», 1951, т. 10, с. 142—151.

118. *Принципы* инженерно-геологического моделирования для гидротехнического строительства. — «Гидротехническое строительство», 1972, № 3, с. 7—11. Авт.: А. Г. Лыкошин, Н. Л. Шешеня, В. В. Каякин и др.

119. *Природа* и общество. Под ред. И. П. Герасимова и др. М., «Наука», 1968. 345 с.

120. *Природные* ресурсы и культурные ландшафты материков. Под ред. А. М. Рябчикова. М., Изд-во МГУ, 1971. 248 с. с ил.

121. *Проблемы* инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды. Под ред. В. Д. Ломтадзе, 1976. Мат-лы Всесоюзной конференции. Тема 1 — 199 с. (ЛГИ); тема 2—3 — 140 с. (ЛГИ); тема 4—265 с. (Институт инженерных изысканий Госстроя Литовской ССР); тема 5 — 202 с. (Институт инженерных изысканий Госстроя Литовской ССР); тема 6 — 139 с. (ЛГИ); тема 7—8 — 152 с. (Центральный трест инженерных изысканий).

122. *Просенков В. И.* Изменение температуры и минерализации подземных вод на территории Москвы. — «Разведка и охрана недр», 1974, № 12, с. 36—41 с ил.

123. *Рациональное* использование земной коры. Под ред. Ф. В. Котлова. Мат-лы научного совещания. 1972. М., «Недра», 1974. 109 с. с ил.

124. *Ревазов М. А.* Инженерно-геологические аспекты управления откосами при открытой разработке месторождений полезных ископаемых. — «Зап. Ленинградского горного института». Л., 1976, т. 70, вып. 2, с. 16—23.

125. *Рекомендации* Всесоюзной конференции «Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды». Л., 1976. 7 с. (Ленинградский горный институт).

126. *Рекультивация* промышленных пустошей. Под ред. Н. Е. Бекаревича, Л. В. Моториной. М., 1972. 166 с. с ил. (Центральная Лаборатория охраны природы МСХ СССР и Днепропетровский сельскохозяйственный институт).

127. *Ресурсы* биосферы на территории СССР. Научные основы их рационального использования и охраны. Под ред. И. П. Герасимова. М., «Наука», 1971. 295 с. с ил.

128. *Ресурсы*, среда, расселение. М., «Наука», 1974. 271 с. с ил.

129. *Розовский Л. Б., Зелинский И. П.* Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. Одесса, 1975. 113 с.

130. *Роль* водохранилищ в изменении природных условий. М., «Знание», 1968. 45 с. Авт.: С. Л. Вендров, А. Б. Авакян, К. Н. Дьяконов, А. Ю. Ретеюм.

131. *Рябчиков А. М.* Антропогенный фактор изменения геосферы. — «Вестн. МГУ. Сер. география», 1970, № 2, с. 90—97.

132. *Рябчиков А. М.* Структура и динамика геосферы, ее естественное развитие и изменение человеком. М., «Мысль», 1972. 223 с.

133. *Рябчиков А. М.* Проблемы природной среды в планетарном аспекте. — В кн.: Современные проблемы географии. М., «Наука», 1976, с. 87—97.

134. *Саваренский Ф. П.* Инженерная геология. М.—Л., ОНТИ НКТП СССР, 1937. 422 с. с ил.

135. *Сапожникова С. А.* Микроклимат и местный климат. Л., Гидрометеоиздат, 1950. 241 с. с ил.

136. *Саушкин Ю. Г.* Культурный ландшафт. — «Вопросы географии», 1946, сб. 1, с. 97—107.

137. *Саушкин Ю. Г.* К изучению ландшафтов СССР, измененных в процессе

производства. — «Вопросы географии», 1951, сб. 24, с. 275—300.

138. *Саушкин Ю. Г.* Географические прогнозы. — В кн.: Земля и люди, 1971. М., 1970, с. 101—102, 273—275.

139. *Сергеев Е. М.* Современное состояние и перспективы развития инженерной геологии в Советском Союзе. М., изд-во МГУ, 1968. 21 с.

140. *Сергеев Е. М.* Вступительное слово. — В кн.: Рациональное использование земной коры. Мат-лы научн. совещ., 1972. М., 1974, с. 4—7.

141. *Сергеев Е. М.* Инженерная геология и градостроительство. — В кн.: Инженерная геология и градостроительство. Мат-лы науч.-техн. совещ. в г. Баку, 1971. М., 1973, с. 11—15.

142. *Сергеев Е. М., Мельникова К. П.* Идеи Вернадского о ноосфере и дальнейшее развитие инженерной геологии. — «Вестн. МГУ. Сер. геология», 1963, № 1, с. 43—48.

143. *Сидоренко А. В.* Геология — наука будущего. М., изд-во «Знание», 1964. 63 с.

144. *Сидоренко А. В.* Земная кора и деятельность человека. — «Экономическая газета», № 37 от 15 сентября 1965 г.

145. *Сидоренко А. В.* Человек, техника, земля. М., «Недра», 1967. 58 с. с ил.

146. *Сидоренко А. В.* Геология в 2000 году. — В кн.: Будущее науки. Международный ежегодник, 1971, вып. 4, с. 271—286.

147. *Сидоренко А. В.* Основные проблемы взаимодействия человека и земной коры. — В кн.: Рациональное использование земной коры. М., 1974, с. 8—18.

148. *Сильверстов С. Н.* Роль рельефа в развитии современной эрозии и борьба с нею. — В кн.: Современные экзогенные процессы рельефообразования. М., 1970, с. 75—84.

149. *Состояние* и задачи карстово-спелеологических исследований. Под ред. Е. А. Баскова. Тезисы докл. на Всес. совещ., Ленинград, 12—14 февраля 1975 г. М., 1975. 201 с.

150. *Строительные* нормы и правила. Нормы проектирования. Основания зданий и сооружений. СНиП II—15—74. М., Стройиздат, 1975. 64 с.

151. *Строительные* нормы и правила. Нормы проектирования. Планировка и застройка городов, поселков и населенных пунктов. СНиП II—60—75. М., Стройиздат, 1976. 80 с.

152. *Строительные* нормы и правила. Нормы проектирования. Генеральные планы промышленных предприятий. СНиП II-М. 1—71. М., Стройиздат, 1976. 33 с.

153. *Строительство* на набухающих грунтах. Под ред. В. П. Ананьева, Л. В. Передельского, Е. А. Сорочана. Тезисы докл. II Всес. совещ. (Ростов-на-Дону), октябрь 1972 г. М., 1972. 132 с. (НИОСП и РИСИ).

154. *Урланис Б. Ц., Бобров Л. В.* Живут люди на земле. (Демографический взрыв). М., «Знание», 1975. 96 с. с ил.

155. *Федоров Е. К.* Взаимодействие общества и природы. Л., Гидрометеоиздат, 1972. 88 с.

156. *Ферсман А. Е.* Геохимия. Т. 2. Л., Госхимтехиздат, 1934. 354 с. с ил.

157. *Хазанов М. И.* Искусственные грунты, их образование и свойства. М., «Наука», 1975. 133 с. с ил.

158. *Ходьков А. Е.* Искусственный промышленный карст и его гидрогеологическое значение. — «Труды ВНИИГ», 1959, вып. 35, с. 395—421 с ил.

159. *Худайбергенов А. М.* Инженерно-геологические процессы и явления на территории Ташкента. Ташкент, 1970. 121 с. с ил. (ФАН Узбекской ССР).

160. *Человек*, общество и окружающая среда. Географические аспекты использования естественных ресурсов и сохранения окружающей среды. М., «Мысль», 1973. 436 с. с ил.

161. *Шегрен Я.* Обвалы и оседания земли на Балаханской площади. Пер. со шведск. Баку, 1885. 8 с.

162. *Шешеня Н. Л.* К методике оценки устойчивости склонов и прогноза обвалов и оползней. — В кн.: Инженерно-геологическое изучение обвалов и других гравитационных явлений на горных склонах. М., 1969, с. 107—134.

163. *Ясиновенко П. А.* К вопросу подработки наземных водоемов. М., Углетехиздат, 1958, с. 358—370.

164. *Beaujeu-Garnier I. et Chabot G.* Traité de géographie urbaine. Paris, Libr. Colin, cop. 1963, 493 p.

165. *Calembert L., Monjoie A.* Phénomènes géologigues et géologie de l'ingenieur dans la région de Vise (Belgique). 1-st International Congress of the Int. Association of Engin. Geology. Paris, France, 8—11 Sept. 1970. Proc. Vol. 1, p. 93—107.

166. *Calembert L.* La gèologie urbaine et l'expansion des villes. — «Techn. rout.», 1974, 19, N 2, p. 29—34.

167. *Dyer A. I.* Global pollution and climatic change. — «Proc. Clean Air Conf.» Melbourne, 1972. Parkville, 1972, p. 12—16.

168. *Fachbuchkatalog* Umweltschutz 1972 Grundlagen, Forschung, Praxis. Hrsg.

Schulz Hans Ferdinand. Freiburg i. Br., Hans Ferdinand Schulz, 1972. 95 s.

169. *Ferro J.* Alcun problen geotecnici del veneto. — «Geotecnica, 1960, 7, N 2.

170 *Fishrr* E. Der Mensch als geologischer Faktor. Zeit. d. d. geol. Ges. Berlin, 1915, B. 67, *s.* 106—148.

171. *Flawn P. T.* Environmental geology. Conservation, land-use plan-ning and resource management. New-York, Harper and Row, cop. 1970. 314 p.

172. *Forrester I. W.* World dynamics. Wright-Allen press, 1971. 142 p.

173. *Himpel K.* Probleme der Eniwicklung im Universum. Stuttgart. 1948 (CES — Bücherei, 2).

174. *Hirofumi H.* Kogai to taisaku. I. Environ. Pollut. Contr., 1974, 10, N 3, p. 231—243.

175. *Kerisel I.* Le barrage d'Arzal-un barrage sur sol trés compressible construit ai travers d'un estuaire a marée. — «Géotehnique», 1973, 23, № 1, p. 49—65.

176. *Kotlov F. V.* Modifications in the Geological Environment Resulting from Growth of Cities. Simposium 1 Earth Sciences and the Quality of Life. XXIV International Geological Congress. Canada — Montreal, 1972, p. 36—41.

177. *Kuesel T. R., Schmidt B., Rafaeli D.* Settlements and strengthening of soft clay accelerated by sand drains. — «Highway Res. Rec.», 1973, N 457, p. 18—26.

178. *Lamb H. H.* Is the earth's climate changing?. — «Ecologist», 1974, 4, № 1, p. 10—15.

179. *Laval S., Garneau R.* Sett lement performance of two embankments on deep compressible soils. — «Can. Geotechn. I.», 1973, 10, N 2, p. 221—226.

180. *Legget R. F.* Cities and geology. M. c. Grau-Hill Boobt Co, Inc, New-York, 1973. 624 p.

181. *Martinez I. D.* Environmental Geology at he Coastal Margin. Simposium 1 Earth Sciences and the Quality of Life. XXIV International Geological Congress. Canada — Montreal, 1972, p. 59—69.

182. *Mathian I., Lamotte M.* Grande structure fondée sur argile preconsolidée. — «Proc. 8-th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Engin.» 1973, p. 161—166.

183. Meadows D. H. The Limits of Growth. New-York, Universe books, 1972, 205 p.

184. *Poland I. F., Lofgren B. E. Ireland R. L., Pugh R. G.* Land sub-sidence in the San Ioaquin Valley, California, as of 1972. — «Geol. surv. Profess. pap»., 1975, N 437-H. 78 p.

185. *Sasman R. T.* Thermal pollution of ground water by artificial recharge. — «Water and Sewage Works», 1972, 119, № 12, p. 52—55.

186. *Scherlock R. L.* Man as a geological agent. An account of his action on inanimate nature. London, Witherbry, 1922. 372 p.

187. *Zaruba Q., Mencl V.* Ingenieur geologie. Berlin, Akad.-Verl., 1961. 606 S.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ

Абразия 3, 107, 108—119
Антропогенез 138—144, 249
Антропогенезация ландшафта 192, 228, 229
Антропогенная:
  абразия 107—119
  дефляция 134—137
  суффозия 129, 130, 131
  эрозия 97—107, 155
Антропогенное:
  выветривание 69—73, 186, 193
  заболачивание 132, 133, 134, 155
  овражкообразование 100—104, 155
  оползнеобразование 100—104, 155
  почвообразование 24, 25
  рельефообразование 34—43
  селеобразование 74—78, 155
Антропогенные геологические процессы и явления:
  геотермические 144—162
  гидрогенные 26, 52—65, 147
  гидролитогенные 145, 162—172
  гравитационные 146, 173—179
  литодинамические 146, 179—183
  субтерральные 146, 183—206
Антропогенный:
  карст 119—132
  литогенез 144, 148, 206—218
Болотообразование 133, 134, 150

Водопонижение 53, 150, 162, 164, 165
Воронка:
  депрессии 54, 55, 145, 150, 162, 194
  карстовая 122—131
  оседания 150, 175, 176
  провальная 129—132
  суффозионная 200, 205
Вывалы пород 146, 153, 186, 191
Выветривание 69—77, 147, 186, 190, 193
Выпирание:
  гравитационное 152, 178, 179, 193, 195
  гидростатическое 151
  гидродинамическое 187
  морозное 149
  фильтрационное 151
Выщелачивание 123, 126—128

Генезис 139, 184, 247
Геокриогенные процессы и явления 147—160
Геотермические процессы и явления 144—162
Геохимические процессы и явления 10, 12, 152, 224
Гидролакколиты 149, 156
Гидростатическое взвешивание 166
Гидрохимическая аномалия 60—61, 152
Горное давление 185, 186, 191
Горное стреляние 146, 183, 186
Гравитационные процессы и явления 146, 152, 173—179

Дегазация 146, 154, 200
Дегидратация 145, 150, 154
Деградация ландшафта 236, 238, 239, 243, 244
Деградация мерзлоты 149, 157, 235, 243
Дезинтеграция 70, 193
Дефляция 134—137

Заболачивание 132—134, 147, 156
Засоление 64—145, 152, 172
Затопление 126, 146, 147, 1[illegible]154, 196, 201
Землетрясение 132—134, 182, 18[illegible]207

Изменение напряженного состояния 146, 154, 162

Изменение физических полей 12, 144, 171, 173, 193, 201, 226, 236, 251
Инженерно-геологические процессы и явления 138. 249

Карст 119—132, 147, 152, 154
Кольматация 145, 152

Ледяные бугры 149
Литогенез:
  субаквальный 144, 148, 214
  субаэральный 144, 148, 214
  субтерральный 144, 148, 214
Льдообразование 144, 147, 149, 156

Морозное выветривание 147, 149
Морозное пучение 147, 149, 155, 156
Мульды оседания и проседания 42, 163, 187, 189

Набухание 145, 151, 167, 170
Наледи 149, 157
Ноогенез 16, 247
Ноогеосфера 12, 16, 201, 248
Ноогеотехносфера 248
Ноосфера 3, 4, 7, 9, 12, 14, 16, 224—226, 234, 236, 238, 247, 248, 251

Обвалы 73, 74, 128, 129
Обрушение пород 146, 153, 186
Оврагообразование 100—104
Окаменение грунтов 144, 149, 160
Оползни 78—97, 195, 223
Опустынивание 3, 229, 236
Оседание:
  гидростатическое 42, 150
  гравитационное 152, 175—178
  вибрационное 152, 180, 181
  дегидратационное 163—165
  полигенное 154, 201, 202
Осыпание 73, 186
Осыпи 73
Оттаивание мерзлых пород 157—160

Падение напора 54, 55, 129, 154, 171, 200
Плывуны 151, 187
Подземные пожары 150, 161, 187
Подпор подземных вод 57, 58
Подтопление 56, 57, 59, 150, 154
Провалы:
  карстовые 122, 123, 128, 129, 131
  суффозионные 151, 200
  подземно-экскавационные 223
Просадки грунтов 122, 123, 149, 151, 158, 166—168
Проседание поверхности:
  деструкционное 145, 164
  суффозионное 203
  термогенное 149, 150, 158, 160
  подземно-экскавационное 187, 188
Прорыв:
  газов 187
  подземных вод 151, 187, 196
  плывунов 151, 187, 196
Пучение 146, 153, 155, 186

Разбарханивание 135
Развевание 17, 23, 134
Размокание 151
Размягчение 166
Разуплотнение 193
Растворение 123
Рельефообразующие процессы 35, 43

Самоочищение 27, 61
Сгорание пород 160
Сдвижение пород 123, 128, 146, 149, 150, 153, 187
Селевые явления 74—77
Сейсмические процессы и явления 182, 183
Солифлюкция 35, 144. 149, 157, 158, 160
Спекание пород 160
Стреляние пород 146, 153, 186
Субаквальные процессы 144
Субаэральные процессы 144
Субтерральные процессы 183—192, 199—206

Суффозия:
механическая 146, 151, 154, 171, 172, 187, 195, 196, 200, 203
химическая 145, 187
Сыпучее течение песков 181, 186

Термическая аномалия 65
Термокарст 149, 157, 159
Термоусадка 160
Терриконы 38, 158, 217
Техногенез 7, 219, 220, 249
Техносфера 7, 219, 248
Течение грунтов 186
Тиксотропные явления 152
Трансгрессия 108, 115
Трещинообразование 160

Уплотнение грунтов:
вибрационное 152, 181
гидравлическое 150, 193
гидростатическое 150
гравитационное 152, 173—179
дегидратационное 150, 193
осмотическое 152
Усадка 167, 170

Химическая суффозия 145, 152
Химическое загрязнение 26—28, 30—34, 59—64

Цементация пород 145, 152

Экзогенные процессы 66, 67, 69, 234
Эндогенные процессы 66, 235
Эоловые процессы 134—137
Эпигенез 175
Эрозия: 97—107
плоскостная 99
линейная 100—104
подземная 99
военная 98
горно-промышленная 98
дорожная 104
земледельческая 98
ирригационная 104
каналов 98
лесных вырубок 98
лесных пожаров 98
пастбищная 98
речная 106
селитебная 98

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

Глава I

Взаимодействие человека и геологической среды (некоторые общие положения и теоретические аспекты) 6

Глава II

Антропогенные изменения основных компонентов геологической среды 16

Атмосфера 17
Растительный покров 20
Почвенный покров . . 24
Поверхностная гидросфера 25
Рельеф 34
Климат . 43
Подземная гидросфера 52

Глава III

Изменение современных геологических процессов и явлений 66

Человек и геологические процессы (некоторые общие положения) 66
Выветривание пород 69
Осыпи и обвалы . 73
Сели 74
Оползни 78
Эрозия 97
Абразия 107
Карст 119
Заболачивание 132
Эоловые процессы (дефляция) 134

Глава IV

Антропогенные геологические процессы и явления 138

Введение в теорию антропогенных геологических процессов и явлений 138
Классификация антропогенных геологических процессов и явлений . . 143
Геотермические процессы и явления 144
Гидролитогенные процессы и явления, вызванные изменением подземной гидросферы 162
Гравитационные процессы и явления, вызванные статическими нагрузками 172
Литодинамические процессы и явления, вызванные динамическими и ударными нагрузками . 179
Субтерральные процессы и явления, вызванные подземными выработками 183
Геологические процессы и явления, вызванные открытыми горными выработками 193
Геологические процессы и явления, вызванные извлечением из недр земли нефти и газа 199
Литогенетические процессы и явления (антропогенный литогенез) 206

Глава V

Закономерности и перспективный прогноз антропогенных изменений геологической среды 219

Глава VI

Охрана природы и улучшение геологической среды 239

Заключение 247
Список литературы 253
Алфавитный указатель геологических процессов и явлений 260

ИБ № 2564

ФЕДОР ВАСИЛЬЕВИЧ КОТЛОВ

ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Редактор издательства
Л. И. Березовская
Переплет художника **В. М. Лукьянова**
Художественный редактор
В. В. Евдокимов
График-иллюстратор **В. П. Гвоздева**
Технический редактор
Е. С. Сычева
Корректор **С. В. Зимина**

Сдано в набор 13.12.77.
Подписано в печать 14.07.78.
Т-12558. Формат 70 × 90¹/₁₆. Бумага № 1.
Гарнитура обыкнов. Печать высокая.
Печ. л. 16,5. Усл. п. л. 19,3. Уч.-изд. л. 20.37.
Тираж 3000 экз. Заказ 687/5798—2.
Цена 3 р. 60 к.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.
Ленинградская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
196006, Ленинград, Московский пр., 91.