

Н. П. Анисимова

**ФОРМИРОВАНИЕ
ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА
ПОДЗЕМНЫХ ВОД ТАЛИКОВ**

**НА ПРИМЕРЕ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ
ЯКУТИИ**

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНСТИТУТ МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЯ

Н. П. Анисимова

ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ТАЛИКОВ

НА ПРИМЕРЕ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ
ЯКУТИИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1971

ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ТАЛИКОВ.
На примере Центральной Якутии. АНИСИМОВА Н.П. Изд-во
"Наука", 1970. I-196

В монографии обобщаются результаты полевых и лабораторных исследований химического состава подземных вод таликов Центральной Якутии. Установлено, что наиболее устойчивыми запасами и хорошими питьевыми качествами характеризуются воды подрусловых и присклоновых таликов. Химический состав и минерализация воды подозерных таликов весьма разнообразны и изменяются по разрезу и во времени.

Проанализировано значение различных природных факторов в формировании и изменении солевого состава воды подозерных таликов в процессе их развития и промерзания.

В целях рационального планирования поисков и использования водных ресурсов таликовых зон в народном хозяйстве приводится районирование территории Центральной Якутии по распространенности, мощности и составу воды таликов, даются рекомендации по улучшению ее качества. Издание рассчитано на мерзлотоведов, гидрогеологов, гидрогеохимиков, почвоведов, географов.

Таблиц 30, иллюстраций 37, библиогр. 103 назв.

Ответственный редактор
канд. геол.-минерал. наук А.И.Ефимов

В районах распространения мощных толщ многолетнемерзлых пород водоснабжение населенных пунктов, удаленных от крупных рек, весьма затруднено. Острый недостаток в воде испытывают наиболее густонаселенные районы Центральной Якутии: Намский, Якутский, Мегинно-Кангаласский, Вилуйский и др., большая часть населенных пунктов которых расположена вокруг усыхающих озер.

Вопрос об изыскании источников водоснабжения для этих районов ставился неоднократно. С этой целью, начиная с 1932 г., исследовались поверхностные (речные, озерные) и подземные (надмерзлотные, подмерзлотные и межмерзлотные) воды, а также подземные "ископаемые" льды.

Исследования озерных вод, проведенные в 1932 г. Н.И.Семеновичем, в 1934 и 1939 г. А.Д.Егоровым, в 1935 г. Л.А.Яроцким, в 1940 г. А.И.Ефимовым, в 1949-1951 гг. А.Г.Немчиновым, в 1958-1963 гг. Н.П.Анисимовой и др., позволили сделать вывод, что большинство озер Центральной Якутии как по запасам воды, так и по ее химическому составу и санитарным качествам не может в достаточной степени и надежно обеспечить потребность населения в воде.

Естественные выходы подземных вод на поверхность в Центральной Якутии весьма редки. Обследования постоянно действующих источников Булус, Улахан-Тарын, Менденский (Максимов, Толстихин, 1940; Ефимов, 1952а; Анисимова, 1960) свидетельствуют о высоком качестве их воды и значительных дебитах. Однако использование этих вод затруднено в связи с удаленностью от населенных пунктов.

Наиболее надежным источником водоснабжения признаны подмерзлотные воды Якутского артезианского бассейна, существование которого было обосновано гидрогеологическими исследованиями, проведенными в 1939-1940 гг. Н.И.Толстихиным и В.М.Максимовым (1940).

Две первые гидрогеологические скважины, вскрывшие пресные подмерзлотные воды в юрских отложениях, были пробурены в г.Якутске в 1940 и 1944 гг. В этих скважинах сотрудниками Якутской мерзлотной станции АН СССР П.И.Мельниковым, А.И.Ефимовым и П.А.Соловьевым были проведены гидрогеологическое опробование и геотермические

наблюдения (1941, 1945). В результате пятилетних исследований установлено постоянство состава воды и дебита эксплуатационной скважины.

Начиная с 1945 г. подмерзлотные воды в юрских и кембрийских отложениях вскрывались гидрогеологическими скважинами Якутского геологического управления в различных пунктах на территории левого и правого берегов р. Лены. Гидрогеологические опробования скважин проводились А.И.Ефимовым, В.В.Мозговым, А.П.Паршиным, В.Н.Макаровым, П.В.Кырбасовым, З.Г.Шрабштейн и др.

Полученные данные показали, что подмерзлотные воды не во всех районах Центральной Якутии обладают хорошими питьевыми качествами, а бурение и эксплуатация глубоких скважин требуют больших денежных затрат. Поэтому использование таких вод не всегда возможно.

На базе юрских и кембрийских подмерзлотных вод решен вопрос водоснабжения поселков Табага, Хатассы, Ломтуга, Майя, Чуя и др. В г.Якутске от использования этих вод для питьевого водоснабжения отказались¹ в связи с высоким содержанием (3-5 мг/л) фтора². Сейчас встал вопрос о водоснабжении города за счет подрусловых вод р. Лены, существование которых было установлено еще в 1932-1934 гг. И.М.Светозаровым. В 1960-1961 гг. детальные гидрогеологические изыскания на подрусловые воды в районе г.Якутска проведены Якутской центральной геологосъемочной экспедицией геологического управления (А.П.Паршин). Данные опробования скважин свидетельствуют о наличии в русловых отложениях р. Лены мощного потока подрусловых вод хорошего качества. Однако эксплуатация этого горизонта подземных вод связана с трудностью строительства водозаборных сооружений в русле реки, поскольку на берегу эти отложения промерзшие.

До последнего десятилетия для большинства мелких колхозных поселков, удаленных от реки, проблема воды оставалась не полностью решенной, поскольку бурение и эксплуатация скважин на подмерзлотные воды для них нерентабельны.

¹ Подмерзлотные воды в г.Якутске для этой цели использовались около 20 лет - начиная с 1947 г.

² Отклонения в ту или иную сторону от установленного по ГОСТу содержания фтора в питьевой воде (1,5 мг/л) вызывают разрушение зубов.

В 1958 г. Институтом мерзлотоведения СО АН СССР на Лено-Амгинском междуречье были начаты исследования подземных вод подоцерных таликов в целях выяснения возможности использования их для водоснабжения. Основанием для этих работ послужили указания А.И.Ефимова, Н.А.Грава и П.А.Соловьева о наличии под озерами на Лено-Амгинском междуречье незначительных по площади и глубине таликов с небольшими запасами грунтовых вод, установленных ими при мерзлотно-гидрогеологических исследованиях в 1941 г., а также результаты бурения скважин в двух подоцерных таликах в окрестностях Якутска, полученные Г.О.Лукиным.

В первый же сезон полевых работ 1958 г. были получены положительные результаты. Однако выяснилось, что не все подоцерные талики содержат хорошие по качеству воды, а поиски и опробование их связаны со значительными трудностями. Для характеристики подземных вод подоцерных таликов на обширной площади Центральной Якутии требовалось проведение комплексных полевых и лабораторных исследований. Необходимо было выяснить условия формирования и питания этих вод, особенности водообмена и взаимодействия их с поверхностными и подмерзлотными водами, изучить изменения химического состава вод как по площади и разрезу таликов, так и в процессе их образования и промерзания.

Для решения указанных вопросов под руководством автора в 1958-1964 гг. были проведены полевые работы в приленской части Центральной Якутии на площади между $61^{\circ}4' - 63^{\circ}$ с.ш. и $128^{\circ}3' - 131^{\circ}$ в.д. включавшие:

1. Бурение скважин до глубины 20-70 м с отбором проб воды, пород и льда для изучения их химического состава и отдельно проб пород - для определения влажности и коэффициента фильтрации. Выборочно, по отдельным скважинам, в водоносных таликах были проведены откачки. Скважины, предназначенные для измерения температуры пород, обсаживались трубами с навинчивающимся поддоном.

2. Геотермические исследования: а) измерение температуры донных отложений озер специально сконструированным термисторным щупом; б) измерение температуры пород залегиваемыми психрометрическими термометрами и термисторными устройствами в скважинах, пробуренных по профилям озерных котловин.

3. Гидрохимические исследования, включающие химические анализы поверхностных вод, атмосферных осадков, подземных вод и льда.

4. Маршрутные исследования с целью изучения геоморфологического строения территории, озерных котловин и обследования выходов подземных вод, а также отбора проб воды, ила и озерного льда.

В лабораторных условиях выполнялись химические анализы воды, озерных льдов, водных вытяжек пород, отжимались и анализировались иловые растворы, а также проводились эксперименты по изучению миграции солей при промерзании воды и водонасыщенных пород.

Химические анализы проб в разное время выполнялись сотрудниками химической лаборатории Института мерзлотоведения СО АН СССР А.В.Бялыницкой, Т.В.Головановой, Т.И.Новицкой, Р.М.Петуховой, Л.Т.Чистотиновой. Все исследования проводились под руководством и при участии автора.

В данной работе на основании обобщения и анализа собранного гидрогеохимического материала автор попытался выявить основные особенности формирования химического состава подземных вод таликов в зависимости от солевого состава пород и питающих вод, а также от условий, определяющих накопление и изменение в них состава солей. Основное внимание уделено формированию химического состава подземных вод подозерных таликов, распространенных в отложениях древних и современных террас р.Лены. На основании полученных данных проведено районирование территории по распространению, мощности и химическому составу воды таликов и предлагаются некоторые мероприятия по улучшению ее качества.

Установленные гидрохимические особенности подземных вод таликов облегчат планирование и проведение поисковоразведочных гидрогеологических работ в целях водоснабжения сельскохозяйственных районов Центральной Якутии.

При подготовке монографии к печати автору помогли советами и полезными замечаниями доктор с.-х.наук Л.Г.Еловская, кандидат геол.-минерал.наук А.И.Ефимов, Н.А.Вельмина, А.И.Косолапов, С.Н.Толстихин. Всем названным товарищам автор выражает глубокую благодарность.

Основные черты рельефа

Описываемая территория находится на юго-восточной окраине Средне-Сибирского плоскогорья, в пределах приленской части Центрально-Якутской низменности (рис. 1).

По строению поверхности здесь выделяются древняя аллювиальная равнина и долина р.Лены: древняя, представленная серией высоких надпойменных террас (третья-седьмая, по Алексееву, 1961), и современная, включающая пойму, первую и вторую надпойменные террасы.

Древняя аллювиальная равнина занимает значительную площадь в западной части района, на левобережье. Ее абсолютные отметки достигают 300 м. По характеру рельефа выделяются три участка равнины: 1) наиболее высокая пологонаклонная слаборасчлененная часть; 2) долины рек Ханчалы и Кенкеме; 3) эрозионно-денудационный склон равнины.

В пределах первого участка, наряду с обширными по площади залесенными равнинными участками, не затронутыми термокарстом (меласьями), довольно широко распространены замкнутые и полузамкнутые термокарстовые котловины (аласы) различной стадии развития. В северной части территории большинство из них представляет собой зрелые аласы сравнительно небольшой величины — 0,3-0,5 км в диаметре, реже встречаются более крупные — до 2-3 км. Обычно они имеют невысокие (3-10 м) и крутые склоны с характерным клумбовидным микрорельефом. Во многих аласных котловинах сохранились небольшие мелководные озера, полностью промерзающие зимой.

В южной части равнины встречается остаточный-аласный рельеф,

¹ Аласами в литературе называются безлесные понижения в рельефе. Разные авторы неодинаково понимают их генезис. Большинство исследователей-мерзлотоведов их происхождение связывают с термокарстом. Подробное описание аласного рельефа и классификация термокарстовых котловин имеются в работах Н.А.Граве (1944), П.А.Соловьева (1950, 1959, 1962), С.П.Качурина (1961) и др. Н.А.Вельминой (1957) предложена гипотеза об эрозионном происхождении аласов. В настоящей работе, говоря об аласах, мы имеем в виду в различной степени обсохшие котловины термокарстового происхождения.

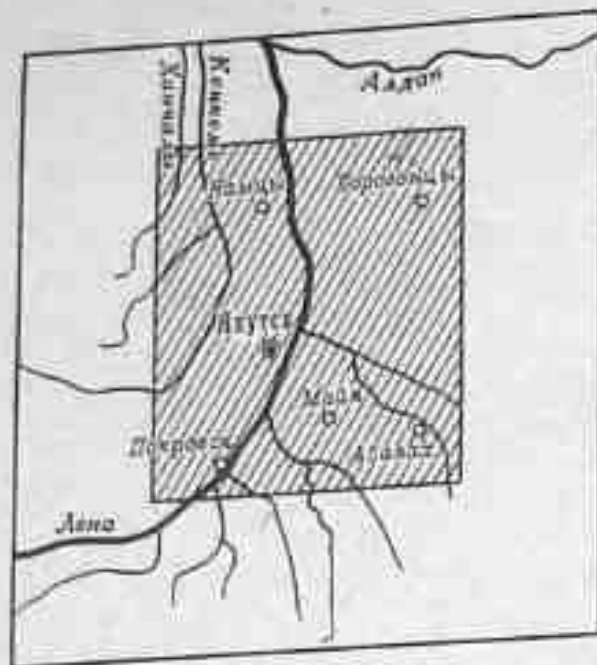


Рис. I. Схематическая обзорная карта описываемого района

представленный формой "хону"^I, а также безлесные урочища с весьма пологими бортами. Происхождение таких урочищ связано с заболачиванием бессточных плоских участков. Довольно широко распространены также врезанные в межаласье эрозионно-термокарстовые долины протяженностью 15–30 км, ориентированные в северо-западном направлении. Борты и дно долин такие же, как и у аласов. Характерны резкие расширения долин за счет термокарста, находящиеся в них озера обычно соединяются между собой временными водотоками.

Территория, занятая бассейнами рек Ханчалы и Кенкеме, характеризуется полого-увалистым рельефом. Ширина долин этих рек достигает 2–3 км, а русла – 10–20 м. Долина р. Кенкеме в северной части района имеет асимметричный профиль: левый склон пологий, правый – крутой. Хорошо развита пойма, а местами и первая надпойменная терраса. На их поверхности распространены прирусловые валы, заболоченные ложбины, небольшие старичные и пойменные, реже термокарстовые озера. На хорошо дренированных участках вдоль русла р. Кенкеме развиты сухие разнотравно-злаковые луга.

Эрозионно-денудационный склон древней аллювиальной равнины характеризуется холмисто-увалистым рельефом. Поверхность этой части равнины изрезана многочисленными мелкими притоками р. Лены, распадками, ручьями и испещрена термокарстовыми котловинами, среди которых и развивающиеся с полноводными озерами, и обсыхающие аласы.

Долина р. Лены. Большая часть территории занята древними террасами р. Лены. К ним относятся высокие надпойменные террасы: седьмая Табагинская (высотой 112–150 м); шестая Абалахская

^I Хону – послеаласная котловина – имеет такое же дно, как зрелые аласы, но ограничена низкими, очень пологими склонами (Соловьев, 1962).

(116–132 м); пятая Тынгульская (66–98 м); четвертая Бестяхская (46–78 м) и третья Кердемская (26–36 м).

Для пятой, шестой и седьмой надпойменных террас типичен термокарстовый аласный рельеф. Среди термокарстовых котловин наиболее распространены в различной степени обсохшие аласы глубиной 5–15 м, диаметром от 0,2–0,3 до 0,6–1 км и более. Часто встречаются также и развивающиеся термокарстовые котловины, заполненные водой. Глубина озер колеблется от 0,5–3 (в обсыхающих) до 5–8 м (в более молодых развивающихся котловинах).

Наряду с типичными просадками термокарстового происхождения распространены отрицательные формы рельефа, эрозионного и смешанного эрозионно-термокарстового происхождения.

Эрозионно-термокарстовые долины имеют протяженность до 20–30 км, ориентированы с юго-востока на северо-запад. Глубина их увеличивается от 3–4 м в верховье до 8–20 м в нижнем течении, ширина в общем небольшая (100–200 м понижу) и увеличивается до 500 м и более в местах аласовидных расширений. К последним на правобережье приурочены такие наиболее крупные озера^I, как Чыппара (№ 157), Усун-Эбэ (№ 176), Орто-Кхель (№ 175), Балыктах (№ 174), Арылах (№ 210), Тынгулю (№ 207).

Четвертая и третья надпойменные террасы р. Лены характеризуются полого-волнистым рельефом, сформировавшимся под воздействием эоловых и эрозионных процессов. С этими процессами здесь связано происхождение типичных эоловых песчаных гряд высотой от 2 до 10 м и эрозионных долинообразных депрессий протяженностью до 10 км. В плесовидных углублениях на дне таких депрессий находятся наиболее крупные из многочисленных озер Бестяхской террасы. Глубина большинства из них колеблется от 3–5 до 10–15 м. Пологие склоны озерных котловин постепенно переходят в поверхность самой террасы.

Морфологическое строение крупных озерных котловин, а также выцветы солей на нижних частях стволов высохших деревьев, провыставших в котловинах, свидетельствуют о периодических изменениях уровня воды в озерах, что, по-видимому, связано с чередованием более влажных и засушливых периодов.

Вблизи крупных источников, таких, как Улахан-Тарын, Мустах-Тарын, Суллар и др., наблюдаются суффозионные формы рельефа, образованные за счет выноса песка надмерзлотными водами. Наиболее крупные и крутостенные воронки отмечаются в непосредственной близости от места разгрузки вод. В нижнем течении рек Лютенки и

^I Здесь и ниже по номеру озера можно найти его местонахождение на схеме (рис. 30).

Менды, на участках, где под маломощными слоями песка залегают трещиноватые известняки, воронки, возможно, имеют карстовое происхождение.

В современной долине р. Лены по обоим ее берегам развита пойма и первая надпойменная терраса. Вторая терраса прерывистой узкой полосой прослеживается на левобережье, а на правобережье сохранились лишь ее останцы. Ширина низких террас вместе с поймой больше на левом берегу.

Для молодых террас характерен пойменный рельеф с протоками, старицами, с невысокими песчаными валами и гривами. Поверхность поймы и террас в общем довольно сухая, занята разнотравным лугом и кустарниками. Значительная заболоченность отмечается вдоль ледовых частей террас, где расположены соединяющиеся между собой узкие мелкие старичные озера. Глубина лишь наиболее крупных из них достигает 2-3 м.

На второй террасе песчаные увалы, покрытые сосновым лесом, тянутся параллельно коренному берегу долины. Участки у подошвы склонов песчаных увалов сильно увлажнены, заболочены, заторфованы; растительность — багульник, угнетенная лиственница.

На низких террасах довольно часто встречаются булгуны, свидетельствующие о промерзании замкнутых водоносных таликов, на отдельных участках развит типичный полигональный микрорельеф.

Растительный покров

Центральная Якутия находится в зоне тайги. Тайжной растительностью занято 74,8% всей площади (Щербаков, 1964). Основная лесообразующая порода — лиственница даурская. Распределение и формирование различных растительных группировок связано с литологическим составом пород и их влажностью.

На участках, сложенных с поверхности суглинками, развиты лиственничные леса с мохово-брусничным наземным покровом, сухие или с заболоченными участками, с кустарниками багульника, голубики. На гарях, где увеличивается влажность пород и глубина протаивания, появляется береза, которая впоследствии вновь вытесняется лиственницей. Для сухих участков, сложенных песками и суглинками, характерны сосновые леса с несплошным наземным покровом лишайника, маломощных лишайников (ягельник). В понижениях на песчаных террасах развиты сосново-лиственнично-березовые или лиственничные леса со сплошным мохово-лишайниковым наземным покровом. По пологим склонам, а также в понижениях, где сезонно-протаивающие слои более увлажнены за счет надмерзлотных вод, стекающих с повышенных участков, произрастает влаголюбивая береза. Березовый лес часто поселяется в озерных котловинах, у бор-

тов, по которым стекают надмерзлотные воды, еловый лес — в долинах мелких рек и ручьев.

Травянистые ассоциации приурочены к аласам, на межаласе встречаются лишь разобщенные луговые участки. Наиболее широко луговая растительность распространена на низких террасах. Обычно — это разнотравно-злаковые или осоковые луга. В аласах и на низких террасах встречаются степные участки, на солонцах и на сильно солончатых почвах которых развиваются осоково-полюнные группировки. Для поймы и островов типичны заросли ивы, смородины и шиповника.

Геологическое строение^I

В описываемой юго-восточной части Вилуйской синеклизы мощность пород осадочного комплекса изменяется от 560 (в пределах Якутского сводового поднятия кристаллического фундамента) до 3500 м (в северной части района).

Наибольшее развитие имеют отложения палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста.

Палеозойские отложения представлены однообразной толщей серых доломитизированных известняков среднего кембрия (майский ярус). В южной части района в долинах рек Лютенки, Менды, Таммы и вдоль р. Лены южнее пос. Покровск они выходят на поверхность и слагают цоколь надпойменных террас р. Лены, а в северном направлении, начиная примерно с широты устья р. Менды — пос. В. Бестях, погружаются под мезо-кайнозойские отложения. На правобережье в районе нижнего течения р. Менды они залегают на глубине 30 м от поверхности, в поселках Хатылыма — 61 м, Ломтута — 119 м, Беке — 315 м, а на левобережье в районе пос. Мохсоголлох — 2 м, в пос. Хатассы — около 300 м, в г. Якутске — около 500 м.

Мезозойские отложения представлены терригенными и морскими породами юры и мела.

Юрская система представлена отложениями всех трех ее отделов. Нижняя юра (нижний, средний и верхний лейас) сложена разнозернистыми кварцево-полевошпатовыми песчаниками с прослоями галечников, конгломератов и глин. Отложения нижнего лейаса в южной части района залегают непосредственно под четвертичными, к северу, начиная примерно от пос. Покровск, погружаются. В районе г. Якутска они вскрыты на глубине 330-390 м. Отложения среднего лейаса в южной части района, в долинах небольших притоков р. Лены, выходят на по-

^I При описании геологического строения территории использованы работы П. А. Соловьева (1959), М. Н. Алексеева (1961) и др., а также унифицированная схема, принятая Якутским стратиграфическим совещанием и утвержденная Межведомственным стратиграфическим комитетом СССР в 1962 г.

верхность, а скважинами в г. Якутске они вскрыты на глубине 220-320 м. Отложения верхнего лейаса обнажаются в коренном склоне долины р. Лены (Табагинский мыс), в окрестностях г. Якутска они залегают на глубине 190-210 м.

Отложения средней юры в естественных обнажениях встречаются в южной части района на левобережье (вплоть до Табагинского мыса). К северу от пос. Большая Марха они погружаются под отложения верхней юры. В нижней части разреза они представлены средне- и мелкозернистыми полевошпатовыми песками, рыхлыми песчаниками и алевролитами; в верхней части среди алевролитов и глин появляются прослои углей.

Верхняя юра (чечумская свита) в нижних слоях сложена рыхлыми песчаниками с прослоями алевролитов и глин, в верхних и средних переслаивающимися песками, песчаниками, алевролитами, глинами и углями.

В составе меловой системы выделены нижний и верхний отделы. Отложения нижнемелового возраста согласно залегают на вернееюрских. Севернее г. Якутска они обнажаются в коренном склоне долины р. Лены, а на междуречье Лены - Кенкеме перекрываются неогеновыми отложениями. В разрезе Намской скважины выделены три свиты нижнемеловых отложений: батылхская, эсенахская и хатырская, сложенные разнозернистыми рыхлыми песчаниками с прослоями алевролитов и глин.

Отложения верхнего мела представлены агрофеновской и чиримыйской свитами. В северо-западной части района отложения верхнего мела выходят на поверхность. Полностью они пройдены Намской скважиной в интервале 130-685 м. Нижний комплекс (агрофеновская свита) мощностью 355 м слагают разнозернистые уплотненные полевошпатовые пески с прослоями алевролитов, глин и углей. Верхний комплекс (чиримыйская свита) мощностью 200 м сложен терригенными породами, прослои углей в нем отсутствуют. В базальной части залегают пески со значительным содержанием гравия и гальки. Выше пески переслаиваются алевролитами и глинами.

Кайнозойские отложения представлены неогеновыми и четвертичными. Песчано-галечные отложения неогена, залегающие на размытой поверхности мезозоя, распространены в северной части района на правом и левом берегу р. Лены. Южнее г. Якутска мощность их не превышает 10 м, в районе пос. Кангалассы она увеличивается до нескольких десятков метров, а в северной части района достигает 600 м. В нижних слоях разреза (тандинская свита) залегают пески с галькой и гравием. Выше по разрезу располагается угленосная толща, в которой переслаиваются пески, алевролиты, глины и бурые угли. Ниж-

ние слои баягинской свиты представлены песками, верхние - глинами. Отложения тандинской свиты выходят на поверхность в обнажении Кангаласского мыса, а Намской скважиной они вскрыты на глубине 22-130 м. Песками баягинской свиты сложен коренной берег р. Лены в районе Намской скважины.

Четвертичные отложения распространены повсеместно. Среди них выделяются элювиальные, делювиальные, пролювиальные, аллювиальные, озерные (озерно-болотные, аласные) и эоловые отложения.

Элювиальные и делювиальные отложения распространены на возвышенных участках древней аллювиальной равнины и по склонам долин, где они представлены кварцево-полевошпатовыми разнозернистыми песками и супесями с включением мелкой гальки, дресвы аргиллита, песчаника или щебенки известняков. По склонам термокарстовых котловин делювиальные отложения суглинистые и супесчаные.

Пролювиальные пески с прослоями суглинков и супесей слагают конусы выноса ручьев, мелких речек и круглогодично действующих источников.

Наибольшую мощность (до 100-130 м) имеют аллювиальные отложения. Самые древние среди них - отложения зоплейстоцена, слагающие седьмую (Табагинскую alQ_1^{tb}) и шестую (Абалахскую alQ_1^a) надпойменные террасы^I. Аллювий Табагинской террасы в нижних слоях разреза представлен разнозернистыми кварцево-полевошпатовыми оклезенными песками, в основании - галечниковыми, в верхних слоях - мелкозернистыми песками с прослоями супесей, вмещающими трещинно-жильные льды. Мощность отложений 20-25 м. Абалахская терраса в нижней части сложена песками, в верхней - озерно-аллювиальными суглинками. Последние П.А. Соловьев (1959) подразделяет на три отдела: верхний, сложенный суглинками, вмещающими жилы льда, средний - песками и нижний - тяжелыми льдистыми суглинками. Мощность отложений Абалахской террасы 80-130 м.

Аллювиальные отложения, слагающие все другие надпойменные террасы, относятся к плейстоцену (нижнему, среднему, верхнему).

Аллювий пятой Тунгусской террасы (нижний плейстоцен) alQ_2^{1t} подразделяется на две части: нижнюю (русовая фация), сложенную галечником, гравием и песком, верхнюю (пойменная фация) - суглинками, супесями и песками, включающими жильные льды. Мощность отложений достигает 80 м. Аллювий четвертой Бестяхской надпойменной террасы alQ_2^{1+2b} (нижний - средний плейстоцен) представлен мелкозернистыми кварцево-полевошпатовыми песками с галечником в основании. Мощность отложений до 100 м.

^I Границы террас, показанные на рис. 4, проведены М.С. Ивановым по материалам исследований 1965-1968 гг.

В нижней части разреза третьей Кердемской террасы alQ_2^2K (средний плейстоцен) примерно с глубины 30 м залегают разнородные пески с гравием и галькой, в верхней – мелкозернистые с 1–2-метровыми прослоями тяжелых супесей. Мощность отложений достигает 50 м.

Аллювий второй Саняхтатской надпойменной террасы alQ_2^3S (верхний плейстоцен) в нижних слоях представлен гравийно-галечниковым крупнозернистым песком, выше по разрезу переходящим в мелкозернистый кварцево-полевошпатовый, покрытый местами тяжелой супесью. Мощность отложений достигает 23 м.

Отложения, слагающие первую Хатайскую надпойменную террасу alQ_2^3J , представлены мелкозернистым песком, в основании – крупнозернистым, с галькой. Верхние слои пород мощностью 3–8 м сложены пойменными песками и супесями с прослойками ила и суглинками. Мощность отложений 17–20 м.

К голоценовым отложениям alQ_3 относятся пески с гравием, галькой и суглинками, слагающие пойму, а также озерно-болотные аласные отложения, которые залегают пятнами среди аллювия, слагающего различные террасы и аллювиальную равнину. Наиболее распространены аласные отложения на дне термокарстовых котловин. Происхождение их связано с первотложением и переработкой при термокарсте льдовмещающих суглинков, супесей и песков (Соловьев, 1959). Аласные отложения представлены суглинками с прослойками супесей и заиленного торфа (в верхних слоях). Мощность этих отложений колеблется от 2 до 15 м. На дне некоторых озер накапливаются хемогенные осадки (сода, озерный доломит) и образуются тонкозернистые минеральные грязи (оз. Абалах, № 282, Чай-Кюель, № 22 и др.). Озерные отложения на песчаных террасах – заиленные пески, в котловинах минеральных озер встречаются глины.

Из приведенного описания литологического состава пород видно, что на описываемой территории сравнительно хорошо фильтрующие песчаные отложения имеют широкое распространение и большую мощность. Ими полностью или на 2/3 сложены террасы р. Лены и толщи неогеновых отложений, что благоприятствует формированию водоносных таликов под не промерзающими до дна озерами и реками.

¹ По П.А.Соловьеву (1959), вторая надпойменная терраса р. Лены называется Сергеляхской.

² По П.А.Соловьеву (1959), первая надпойменная терраса р. Лены называется Якутской.

Климат

Климат Центральной Якутии резко континентальный, характеризуется большими изменениями температуры воздуха на протяжении года.

Низкие температуры воздуха зимой определяются Сибирским антициклоном, формирующимся в центре Азии. Под его влиянием в Центральной Якутии в течение семи месяцев господствует морозная малоснежная зима. Наиболее низкие температуры воздуха отмечаются в январе, когда абсолютный минимум достигает -64° , а среднемесячная зимняя температура воздуха, по многолетним данным, равна -43° . Положительные среднесуточные температуры устанавливаются в последних числах апреля, но заморозки (понижение температуры ниже нуля) возможны даже в начале июня. Наиболее высокие температуры воздуха наблюдаются в июле, когда абсолютный максимум достигает 38° , а средние месячные температуры равны $18-19^{\circ}$.

Продолжительность безморозного периода колеблется от 70–90 до 110 дней. Как правило, устойчивые заморозки наступают в конце августа, а в сентябре возможно понижение температуры до -14° . В первой половине октября среднесуточная температура ниже 0° . Несмотря на высокие температуры летних месяцев, средняя годовая температура воздуха, по данным метеостанций в г. Якутске, поселках Покровск, Амга, равна примерно $-10,5^{\circ}$.

Низкие отрицательные температуры воздуха зимой способствуют сохранению мерзлых толщ и благоприятствуют промерзанию таликов (при изменении локальных факторов, вызвавших их образование).

Континентальность климата проявляется и в режиме осадков. По количеству атмосферных осадков Центральная Якутия сходна со степными и полупустынными районами Советского Союза. Годовая сумма осадков составляет всего 200–250 мм. Осадки распределяются в течение года неравномерно. Большая их часть, до 85% годового количества, выпадает в теплый период и особенно во второй половине лета, что является благоприятным условием для их инфильтрации в тех частях района, где с поверхности залегают сравнительно хорошо фильтрующие пески. Наилучшее просачивание осадков в почву происходит при затяжных дождях, наименьшее – при ливнях. Средняя высота снежного покрова в различных районах Центральной Якутии колеблется от 25 до 35 см.

По данным Л.К.Позднякова (1963), абсолютные запасы воды в снеге к концу марта – середине апреля близки к величине зимних осадков. Примерно 10% этих запасов тает весной при интенсивном испарении с поверхности снега; так что инфильтрация талых вод в

оттаивающие почво-грунты в общем незначительна. В современной долине р. Лены глубина весеннего промачивания лугово-черноземных почв на повышенных местах не превышает 20-30 см (Еловская, Ковровский, Саввинов, 1966).

В первой, засушливой, половине лета при низкой влажности воздуха происходит интенсивное испарение из многочисленных озерных водоемов и из почвы. По данным М.К. Гавриловой и П.П. Гаврильева, испарение с поверхности озер в летние месяцы 1963 г. на Лено-Аldгинском междуречье превышало осадки в 7 раз.

Гидрологические особенности

Резко континентальный климат с холодной зимой и жарким засушливым летом, неравномерное распределение атмосферных осадков по сезонам года и наличие многолетнемерзлых пород определяют гидрологический режим рек и озер Центральной Якутии.

Реки. Основной водной артерией района является р. Лена с малыми притоками. Максимальная ширина современной долины реки 25 км. Русло разбито на несколько протоков, часто встречаются острова.

Глубина воды в реке в летнюю межень колеблется от 0,5 до 10 м. Среднегодовой расход воды в районе г. Якутска - 150-200 км³ при 0,9 км³/сутки - в период открытого русла и 0,003 км³/сутки - зимой (Чистяков, 1964).

Продолжительная зима с низкими среднесуточными и среднемесячными температурами воздуха определяет длительный ледостав (около 7 месяцев). Лед на реке начинает образовываться в ноябре. Мощность его у г. Якутска достигает 1,5-2 м.

В конце апреля - начале мая начинается весенний паводок, во время которого уровень воды на реках района выше летнего. Объясняется это тем, что весной по мерзлым водоупорным породам водосборной площади бассейна талые воды почти полностью стекают, тогда как летом большая часть дождевых вод задерживается почвой. Паводок на р. Лене проходит в мае. В весенний паводковый период расход воды в реке в 45 раз выше межени. В это время уровень воды повышается на 8-10 м. Паводковые воды реки приносят на пойму и в пойменные старицы озера ил, песок и растворенные соли.

Большинство малых рек имеет много общих черт в строении долины и в гидрологическом режиме. Для них характерны весьма низкие модули стока - 0,56-0,59 (Чистяков, 1964). Питание осуществляется главным образом за счет атмосферных осадков, доля участия озерных, болотных и подземных вод незначительна. Поверхностный сток у большинства малых рек происходит в весенне-летний период. В нижнем течении малых рек Бестяхской террасы поверхностный сток

продолжается до зимы. Зимой малые реки промерзают полностью, вода иногда сохраняется лишь в разобренных, наиболее углубленных участках русла.

Круглогодичный подземный сток в русловых отложениях возможен в нижнем течении наиболее крупных правобережных притоков (реки Менда, Тамма, Суола).

Р. Суола - правобережный приток р. Лены, протяженность ее 180 км, площадь водосбора 4500 км². Примерно 1/5 этой площади занята бессточными аласными котловинами, в весеннее время задерживающими значительную долю снеговых вод. Тальвег долины в среднем и нижнем течении имеет глубину 4-5 м, ширину от 15 до 50 м.

Весенний паводок начинается в начале мая. Ледохода не бывает, талые воды текут по льду. При этом уровень воды поднимается до 1,5-2,5 м (редко до 3,5-4,5 м) и держится 15-20 дней. По данным Б.И. Невенко, расход воды в паводок 20-25 м³/сек, а в наиболее многоводные годы достигает 40 м³/сек. Среднегодовой расход не превышает 2 м³/сек. Летние паводки бывают редко, с небольшим подъемом воды (не более чем на 0,5-0,7 м).

Сходный гидрологический режим с р. Суолой имеют реки Тамма и Менда, однако в их питании несколько большее значение имеют озерные и подземные воды, особенно в нижнем течении, где реки прорезают аллювиальные, хорошо фильтрующие отложения Бестяхской террасы. Здесь в р. Тамму впадают ручьи из озер Улахан-Тенгютте, Оччугуй-Тенгютте и др., а также воды источника Ерю, а в р. Менду - ручьи, вытекающие из озер Юнгестех, Бестей, Курах, Табалах, и воды источников Менденского, Муостахского и др.

Из левобережных рек наиболее крупная Кенкеме. Длина ее 723 км, площадь водосбора 7020 км² (Чистяков, 1964). На большей части своего протяжения река течет параллельно р. Лене. Глубина воды в межень колеблется от 0,1 до 0,8 м, достигая на некоторых плесах 2,5 м. Наибольший уровень воды (3-4 м) отмечается в весенний паводок, когда расход достигает 20-25 м³/сек. В связи с весьма малым стоком летом и осенью среднегодовой расход воды равен 2 м³/сек. Зимой река полностью промерзает.

Большинство малых рек (Шестаковка, Улахан, Аллах, Владимировка, Маганка и др.), долины которых врезаются в эрозионный склон древней аллювиальной равнины, имеет сток лишь в весенний период. Паводковыми водами этих рек заливаются старицы озера, находящиеся на широких низких надпойменных террасах р. Лены. В летний период сток воды в мелких речках временно возобновляется после продолжительных дождей. Площадь водосбора этих рек мала. У р. Шестаковки, например, она равна 170 км² (Чистяков, 1964). Склоны

речных долин обычно рассечены небольшими ложбинами. Дно ложбин зачастую заболочено, покрыто мхом, багульником, голубичником, редкой березой и лиственницей.

Озера. Район характеризуется широким распространением эрозионного и термокарстового происхождения.

К эрозионному типу относятся старичные и пойменные озера, находящиеся на террасах р. Лены и ее притоков. Они имеют вытянутую форму и обычно соединяются между собой временными и постоянными действующими ручьями. Глубина таких озер колеблется от 0,5–0,7 до 3–4 м. В весенний паводковый период они пополняются речной водой. В питании старичных озер, расположенных у основания выветренных песчаных террас, принимают участие надмерзлотные воды. Некоторые из озер на правом берегу р. Лены питаются водами круглогодично действующих источников Улахан-Тарын, Мустах-Тарын, Сула и др. Такие озера полноводны.

К эрозионному типу относятся также озера, находящиеся в виде углублений древних эрозионных долинообразных понижений Бестяхской террасы. Озерные котловины в поперечнике от 0,5 до 3 км, их склоны чаще невысокие, пологие, дно постепенно углубляется к центру. Озера имеют широкую полосу отмели, где глубина воды уменьшается от 0,3 до 0,7 м, тогда как в центре она увеличивается до 5–10 и даже 15 м (например, оз. Таас-Кюель, № 188).

В питании озер со значительной водосборной площадью велика роль надмерзлотных вод, за счет которых они сравнительно полноводны и иногда имеют поверхностный или подземный сток. Ручьи текут, например, из озер Хаха (№ 270), Улахан-Тенгютте (№ 25), Бере (№ 269), Нингестех (№ 266) и др. Наряду с полноводными озерами широко распространены усыхающие, сильно обмелевшие, зарастающие водной растительностью.

Озера, находящиеся вне эрозионных понижений Бестяхской террасы, обычно небольшие (в диаметре 0,5 км) и сравнительно неглубокие (менее 3 м). Среди них, в зависимости от величины и строения водосборной площади, выделяются более полноводные или обмелевшие зарастающие. Примером озер с большой водосборной площадью является оз. Нингестех, находящееся в южной части района, у основания крутого песчаного склона Тунгиллинской террасы. Питание надмерзлотными водами обеспечивает круглогодичный поверхностный сток озера. В зимний период водами вытекающего из него ручья образуются наледь, частично сохраняющаяся до конца июля.

Наиболее полноводные озера песчаных террас интенсивно зарастают водной растительностью (осока, камыш, сфагнум). В результате некоторые из них превращаются в торфяные болота.



Рис. 2. Остаточное термокарстовое озеро в аласе (Н.П. Анисимова)

Озера термокарстового происхождения наиболее широко распространены в пределах высоких Тунгиллинской и Абалахской террас, а также на повышенных участках древней аллювиальной равнины на левобережье. Форма термокарстовых котловин обычно круглая, борта крутые, дно плоское. Величина котловин зависит от интенсивности термокарста, от строения поверхности, от мощности и состава льдосодержащих пород, обилия ледяных жил или льдистости пород и т.д. Наряду с небольшими котловинами (0,1–0,3 км в диаметре) встречаются более крупные (до 2–3, реже до 10 км). Различные группы озер термокарстового происхождения подробно описаны А.И. Ефимовым (1950).

Молодые озера наиболее полноводны. В интенсивно развивающихся термокарстовых котловинах они занимают все дно, глубина воды достигает 3–4, редко 10–15 м. Поскольку водосборная площадь термокарстовых котловин почти отсутствует, значение атмосферных и надмерзлотных вод в питании термокарстовых озер незначительно. Поэтому в период затухания термокарста потеря воды на испарение, намного превышающая ее пополнение, приводит к уменьшению объема воды и к сокращению площади зеркала (рис. 2).

Глубина усыхающих озер обычно колеблется от 0,3–0,6 до 2–3 м. Если озеро не соединяется с другим озером и не лежит в системе

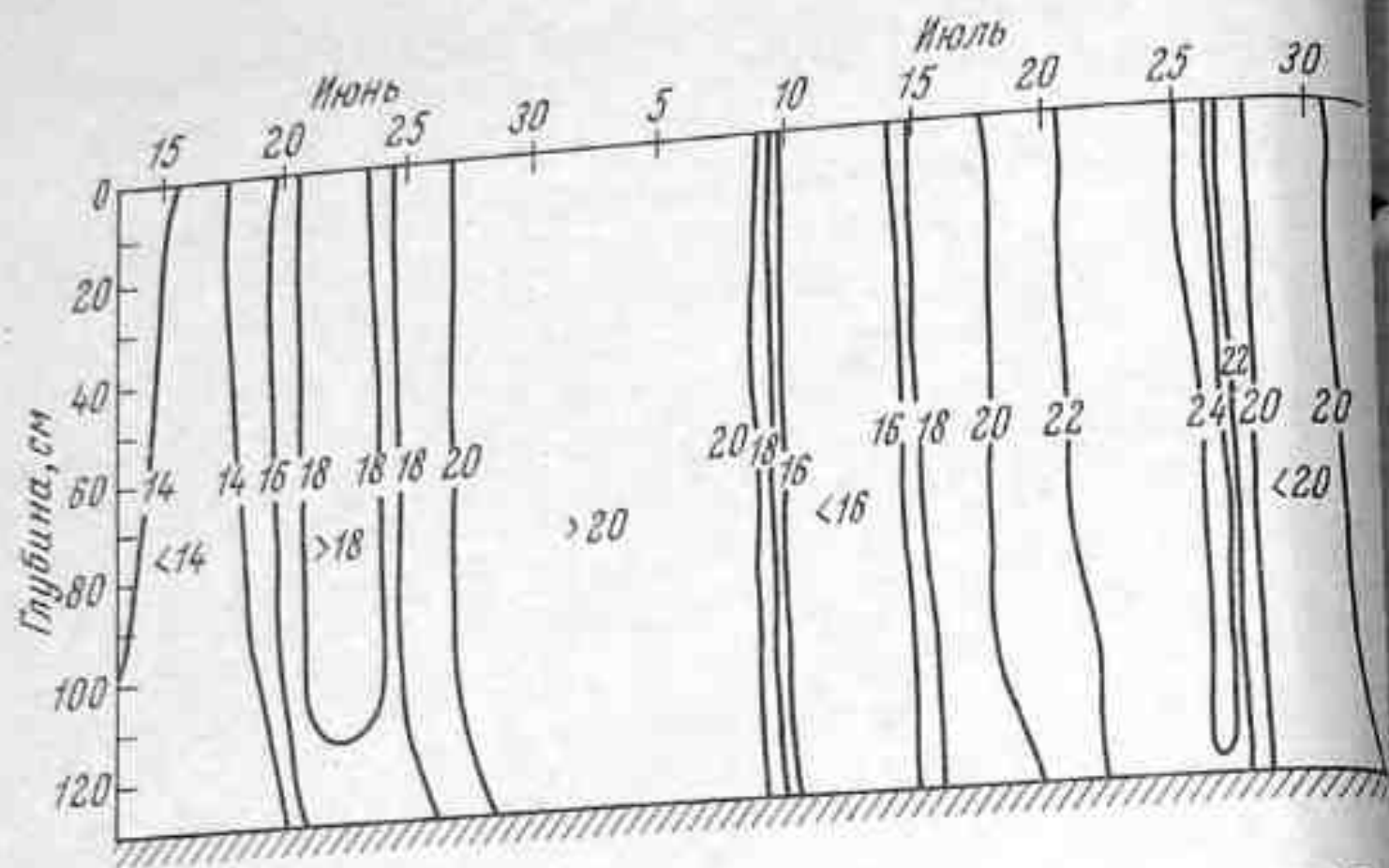
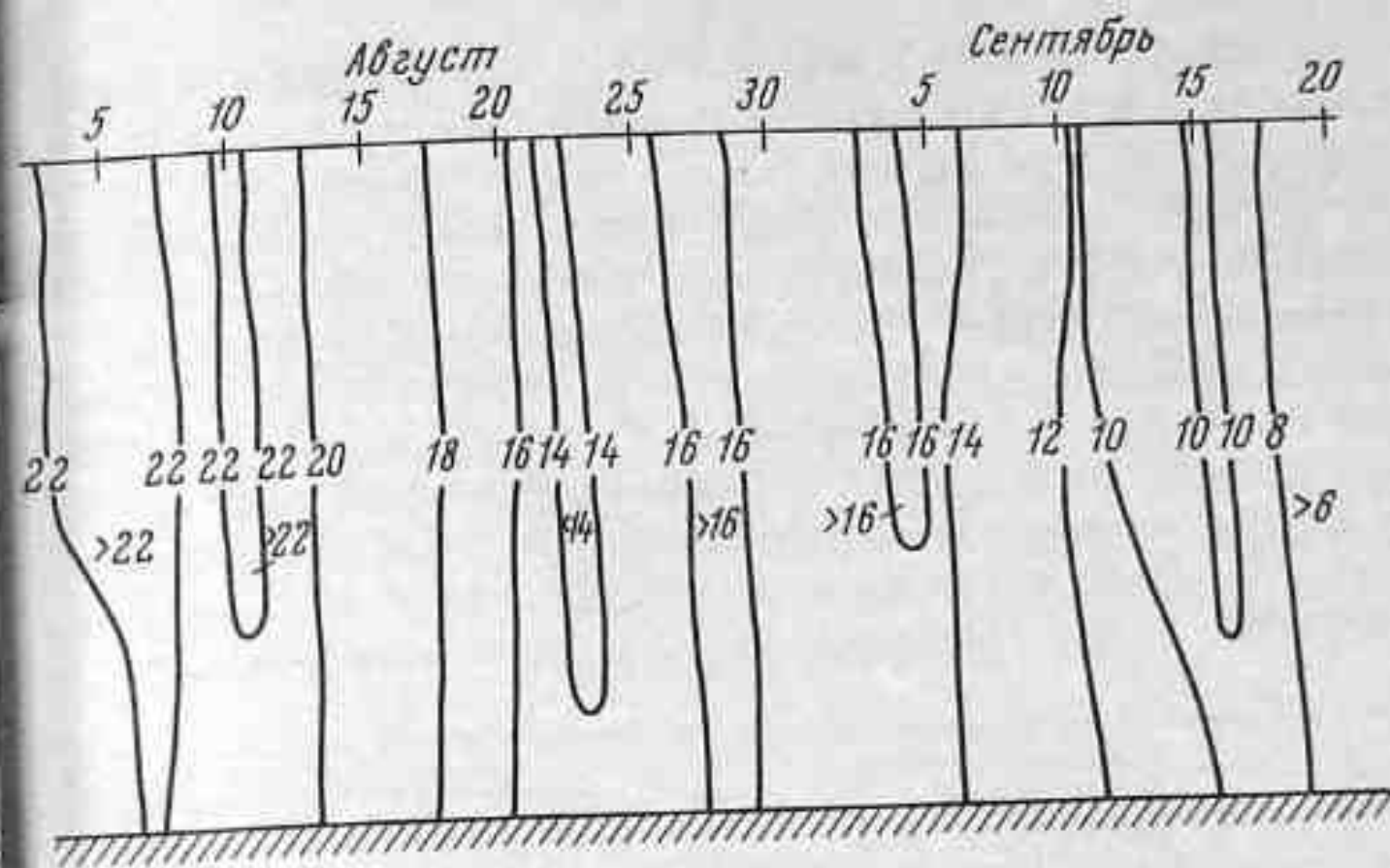


Рис. 3. Изоплеты температуры воды (°C)



оз.Сегелей (по данным М.К.Гавриловой)

речного стока, то оно может полностью высохнуть, но в годы с обильными осадками снова частично восстановиться (Соловьев, 1959).

В процессе термокарста замкнутые аласные котловины могут соединяться с другими котловинами или с эрозионно-термокарстовыми долинами. При этом вода из озера через образовавшуюся промоину или разрушенную межаласную перемычку может частично или полностью стечь в соседнюю котловину. Озера, находящиеся в эрозионно-термокарстовых долинах, являются ежегодно или периодически проточными. Глубина таких озер не превышает 2-3 м. Многие из них зарастают водной растительностью.

Температура воды в озерах летом изменяется от 14 до 24° в зависимости от температуры воздуха, глубины и площади озера, минерализации воды, зарастаемости и т.д. Максимальный прогрев озера наблюдается в середине июля. Характер изменения температуры воды в одном из крупных озер Лено-Амгинского междуречья — оз.Сегелей (№ 208) в июне-сентябре 1963 г. показан на графике, составленном М.К.Гавриловой (рис. 3).

В связи с небольшой глубиной большинства озер (1,5-5 м) разница температуры поверхностных и придонных слоев воды незначительна (табл. I). В пресных озерах глубиной до 1-1,5 м температура воды летом по вертикальному разрезу практически одинакова. В озерах глубиной 3-5 м разница не превышает 2-3°.

Несколько большие различия в температуре воды по вертикальному

му разрезу отмечаются в озерах с повышенной минерализацией воды. Так, например, в оз.Таас-Кюель (№ 206) глубиной 5 м и минерализацией 2 г/л разница в температуре поверхностных и придонных слоев в июле 4°, а в оз.Чай-Кюель (№ 227) глубиной 7,5 м и минерализацией 5-9 г/л, по данным В.И.Бахман и А.И.Ефимова (1962), она достигает 5,4°.

Охлаждение озер начинается в конце июля — начале августа. К концу сентября температура воды даже в крупных озерах понижается до 5-7°. Ледовый покров устанавливается в октябре. В конце зимнего периода при максимальном охлаждении воды разница в температуре подледного и придонного слоев в озерах разной глубины и минерализации колеблется от 0 до 5°. В пресных озерах температура воды у дна в конце зимы колеблется от 0,4-0,6 до 1-2°. Строгой зависимости температуры придонных слоев от глубины озер зимой не наблюдается. Наиболее высокие ее значения у дна (1-2°) отмечены в озерах, находящихся в долинообразных понижениях Бастяхской террасы и в эрозионно-термокарстовых долинах Тунгуйской террасы, что, по-видимому, объясняется более высокой температурой донных отложений этих озер (5-6°).

В наибольшей степени охлаждаются зимой солоноватые озера глубиной менее 2 м. При минерализации 2-4 г/л температура воды в них по глубине изменяется от 0 до 0,2°, при минерализации более 4 г/л вода охлаждается до отрицательной температуры. Так, напри-

мер, в оз. Тонгилью (№ 207) в апреле 1963 г. при глубине 1,4 м минерализации 8 г/л температура воды у дна была $-0,4^{\circ}$, а в оз. Кюеллерки (№ 145) при глубине 2,5 м и минерализации 5 г/л $-0,4^{\circ}$. В более глубоких солоноватых озерах отрицательная температура отмечается до глубины 2 м, глубже она остается положительной. Табл. 2 приводятся данные изменения температуры воды по глубине сильносоленоватого озера Чай-Кюель.

Т а б л и ц а 1
Температура воды в озерах

Озеро	Глубина озера в месте измерения, м	Дата	Температура воды, $^{\circ}$	
			на глубине 0,2 м	у дна
Туустах	0,5	20/VI 1959	22,0	-
Дьарама	0,8	26/VI 1963	23,0	-
Хатилыма	1,0	18/VI 1958	14,7	14,7
То же	1,3	20/VI 1958 ^x	-	0,6
Хаха	2,0	29/VI 1959	21,2	20,4
То же	1,8	20/VI 1959	0,2	2,0
Сырдах	1,5	23/VI 1958	-	16,2
Курах	1,5	23/VI 1958	-	13,2
Дьантада	2,0	22/VI 1959	-	15,8
Дьогудай	2,4	13/VI 1958	19,0	17,5
Куталыктах	1,2	25/VI 1958	-	0,8
Ухумас	1,5	2/VI 1965	0,1	0,6
Хатахай	1,6	22/VI 1958	0,6	1,6
Бера	1,8	22/VI 1958	0,1	0,6
Балыктах	3,0	12/VI 1963	0,2	1,5
Орто-Кюель	3,0	12/VI 1963	0,3	1,0
Усун-Эбэ	3,0	18/VI 1963	0,3	1,2
Табынтай	1,9	20/VI 1963	-	1,4
Марага	2,5	17/VI 1963	-	0,7
Ирас-Кюель	4,0	17/VI 1963	0,2	0,8
Дуойанчи	1,6	17/VI 1963	0,0	0,0
Дьундугу	1,8	5/VI 1963	-	0,2
Таастах	3,5	25/VI 1963	-	0,4
Хатчах	1,7	17/VI 1965	0,0	0,0

^x В апреле замеры температуры проводились подо льдом и у дна

Геокриологические условия

Большой фактический материал, собранный сотрудниками Института мерзлотоведения и других организаций в районах Центральной Якутии (П.А.Соловьевым, В.М.Пономаревым, М.И.Сумгиным, С.В.Шимановским, П.И.Мельниковым, Н.Н.Герасимовым, А.И.Ефимовым, В.А.Кудрявцевым, С.П.Качуриным, Н.П.Анисимовой, В.М.Барыгиным, Н.А.Вельминой, Н.А.Граве, Н.Ф.Григорьевым и др.), дает представление о мощности, температуре и площадном распространении многолетнемерзлых пород. На рис. 4 приводится схема расположения скважин, по которым использован фактический материал.

Т а б л и ц а 2
Температура воды в оз. Чай-Кюель (апрель 1964 г.)

Расстояние от уреза воды до места измерения, м	Толщина льда, м	Глубина озера в месте измерения, м	Глубина измерения температуры, м					
			1,0	2,0	3,0	3,5	5,5	6,5
40	0,70	2,1	-0,4	-0,2	-	-	-	-
70	0,68	3,5	-0,4	-	-	0,2	-	-
120	0,65	5,5	-	-	-	-	0,8	-
170	0,58	6,5	-0,4	-0,3	0,6	-	1,6	1,6

На описываемой территории многолетнемерзлые породы распространены повсеместно, за исключением русла р.Лены и крупных озер, под которыми возможны сквозные талики (Моцанский, Мулина, 1961; Анисимова, 1962а).

Мощность многолетнемерзлых пород варьирует от 20 до 475 м. Наименьшие ее значения (20-50 м) отмечаются в пределах низкой поймы, островов, прибортовых участков р.Улахан-Тарын и некоторых озерных котловин.

На первой надпойменной террасе левого берега р.Лены в районе г.Якутска и пос.Хатай мощность многолетнемерзлых пород составляет 216-270 м, а к северу она увеличивается и у пос.Хатырык равна 475 м; на второй террасе она изменяется от 270 до 320 м. На первой и второй террасах правого берега, отделенных от русловой части реки широкой поймой, исходя из геотермических данных по скважинам, пройденным на Покровском гидростворе, мощность мерзлых пород достигает 250-350 м.

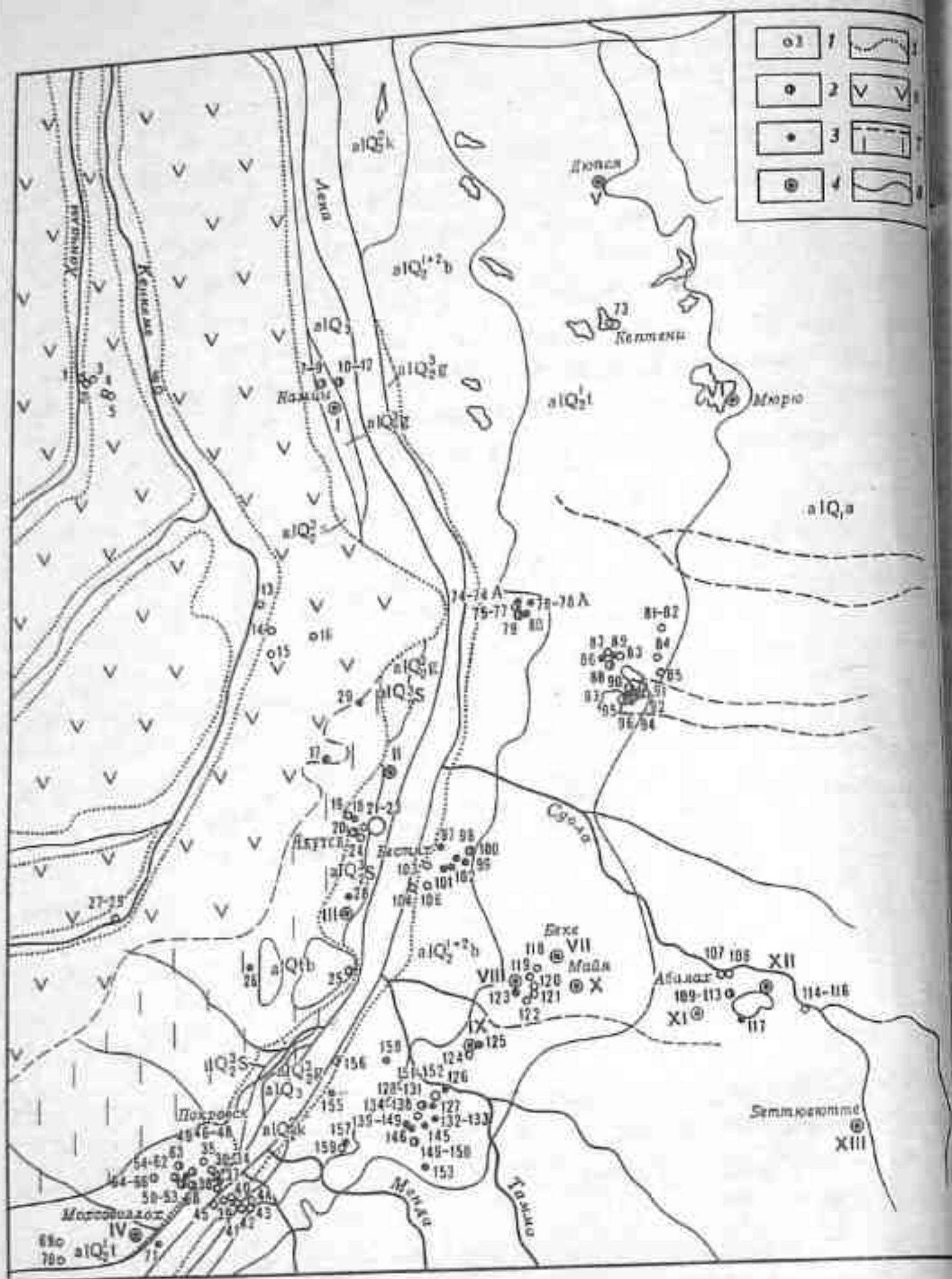


Рис. 4. Схема расположения скважин

1 - скважины и их номера, по которым использованы геологические разрезы и данные замеров температуры пород; 2 - скважины, по которым, кроме того, имеются данные химического состава пород и льда; 3 - скважины, по которым имеются данные химического состава воды; 4 - гидрогеологические скважины Якутского геологического управления; 5 - граница современной речной долины; 6 - древняя аллювиальная равнина; 7 - ее эрозионно-денудационный склон; 8 - границы надпойменных террас р. Лены

На высоких надпойменных террасах левобережья и древней аллювиальной равнине мощность многолетнемерзлых пород изменяется от 150 до 450 м. На пятой надпойменной террасе в 70-100 м от уреза воды в реке (район пос. Мохсоголлох) она равна 150 м; на эрозионном склоне аллювиальной равнины (район пос. Кангалассы) - 300 м; в пределах наиболее повышенных участков древней аллювиальной равнины, по данным В. Девяткина, она колеблется от 150 до 250 м, увеличиваясь в долине р. Кенкеме до 350 м.

На правобережных высоких надпойменных террасах наименьшая мощность многолетнемерзлых пород отмечается в южной части района в пределах Бестяхской террасы (20-50 м), в северном и восточном направлениях она увеличивается и в районе пос. Хатылыма равна 60-70 м, поселков Ломтуга, Майя, Беке - 100-170 м, Абалах - 260 м, Тынгулю, Мюрю - 300 м и более.

Глубина залегания верхней поверхности многолетнемерзлых пород обычно определяется глубиной максимального сезонного протаивания пород, но в отдельных случаях (в долинах ручьев, рек, в озерных котловинах) она равна суммарной мощности сезоннопротаивающего и круглогодичноталого слоев (надмерзлотные талики) ¹.

Глубина сезонного протаивания пород зависит от множества факторов, среди которых, кроме общеклиматических (температура воздуха, количество осадков, испаряемость и т.д.), большое значение имеют также локальные - литологический состав пород, их влажность, водопроницаемость, затененность поверхности, тип растительности, положение участка в рельефе, температура подстилающих пород и др. В зависимости от изменения этих факторов мощность сезоннопротаивающего слоя колеблется в значительных пределах: от 0,3 до 4,5 м (табл. 3).

¹ Под термином талики и таликовая зона понимается толща горной породы в районе распространения многолетнемерзлых пород, имеющая положительную или отрицательную температуру, содержащая в себе капельножидкую воду. Сухие талики на описываемой территории не встречаются.

Примечания (к рис. 4):

1. Часть данных по скважинам заимствована из работ других исследователей: Института мерзлотоведения СО АН СССР - Т.П. Кузнецовой, А.М. Федорова, П.И. Мельникова, Г.О. Лукина, В.М. Барыгина, А.И. Ефимова, П.А. Соловьева; экспедиции Гидропроекта, Якутского геологического управления. 2. Контуры террас и аллювиальной равнины проведены М.С. Ивановым (по материалам исследований 1965-1968 гг.).

Т а б л и ц а 3

Глубина (в м) максимального сезонного протаивания
(по П.А.Соловьеву, 1959, с дополнениями автора)

Место наблюдений	Суглинки и супеси				Песок				Торфяные болота, низины
	Плоские повышения, межаласье		Низины и днища аласов		Плоские повышения		Низины, озерные котловины		
	тайга	луг и редкий лес	тайга	луг	лес сосновый	луг, редкий лес	лес	луг	
	Н и з к и е т е р р а с ы								
Сергелях	I, I-I, 5	I, 6-2, 5	-	I, 4-I, 8	-	-	-	-	-
Латай	-	I, 5-2, 4	-	-	2, 4	-	-	-	-
Намцы	0, 6-I, 0	-	-	-	-	-	-	-	0, 4-0, 6
Покровск	0, 7-I, 8	I, 2-2, 7	-	-	-	-	-	-	-
	В ы с о к и е т е р р а с ы								
Н. Бестях	-	-	-	-	-	3, 0-4, 5	0, 8-I, I	2, 5	0, 5
Ломтута	I, I-2, 0	I, 6-2, 2	I, 0-I, 2	I, 6-I, 8	2, 2-3, 4	-	-	-	-
Майя	I, I-2, 0	I, 8-2, 2	I, 0-I, 2	I, 6-I, 8	-	-	-	-	-
Хатыльма	I, I-2, 0	I, 8-2, 2	-	-	-	-	-	I, 5-2, 5	-
Тюнгюлю	I, 0-I, 2	I, 6-2, 0	-	I, 0-2, 4	-	-	-	-	-
Борогонцы	-	I, 3-I, 9	-	-	-	-	-	-	-
Абалах	0, 9-I, 7	I, 3-2, 0	-	I, 4-2, 0	-	-	-	-	-

Глубина сезонного протаивания плоховодопроницаемых суглинков на высоких террасах колеблется от 0,9 до 2,0–2,2 м. В густом лиственничном лесу на межаласье она изменяется от 0,9 до 2,0 м, а на безлесных участках от 1,3 до 2,2 м. В аласных котловинах глубина протаивания также меньше на залесенных участках (1,0–1,2 м), чем на луговых (1,0–2,4 м).

Супесчано-суглинистые почво-грунты на типичных лугах поймы и низких надпойменных террас в среднем протаивают до глубины 1,3–2,5 м (Еловская и др., 1966).

Глубина протаивания песчаных грунтов колеблется от 0,4 до 4,5 м. Наименьшие значения (0,4–0,6 м) отмечаются в глинистых песках, под покровом сфагнома на заболоченных участках у подошвы склонов песчаных увалов (например, на низких террасах современной долины р. Лены и ее мелких притоков). На сырых участках, покрытых густым кустарником без мохового покрова, глубина протаивания изменяется от 0,7 до 1,5 м. В сухих песках (с влажностью до 10%) на песчаных увалах низких левобережных террас и в чистом разреженном сосновом лесу Бестяхской террасы она увеличивается до 3–4,5 м.

Наиболее интенсивно протаивают песчаные породы в озерных котловинах и в долинах рек на отмелях, косах и на обсыхающих участках русла, где они подстилаются водоносными таликами. На таких участках породы, промерзшие за зиму до глубины 2–2,5 м, в весенне-летний период полностью протаивают.

В обсыхающих озерных котловинах на пониженных заболоченных заторфованных участках, где глубина сезонного протаивания пород меньше глубины промерзания, образование многолетнемерзлых пород происходит быстрее, чем на повышенных, сложенных слабозаиленными глубокопротаивающими песками.

Глубина протаивания русловых отложений малых рек, обсыхающих летом или полностью промерзающих зимой, в значительной степени зависит от фильтрационных свойств пород. На участках, где отсутствуют подрусовые талики, русловые песчаные отложения рек Кенкеме и Ханчалы протаивают до 2–2,5 м, а суглинистые и супесчаные отложения среднего течения рек Суолы и Таммы – до 1–2 м.

Скорость протаивания горных пород вне речных русел в течение теплого периода года неодинакова. По данным Института мерзлотоведения (Мельников, 1950), в районах Центральной Якутии наиболее интенсивное протаивание пород (до 0,5 м) наблюдается в первой половине мая. Затем темп протаивания снижается. Наибольшей глубины сезонное протаивание достигает в сентябре. В конце сентября-

начале октября начинается промерзание протаявшего слоя сверху вниз. На большей части территории уже в декабре происходит окончание слоя сезоннопромерзающих пород с многолетнемерзлыми.

Ход изменения температуры пород на различных глубинах сезоннопромерзающего слоя в теплый период года на Тунгусинской террасе показан на рис. 5.

Общеклиматические и местные факторы, определяющие разнообразие глубин сезонного протаивания, имеют большое значение и при формировании температурного режима толщи многолетнемерзлых пород.

Анализ фактического материала свидетельствует о неоднородности геотермических условий как на разных террасовых уровнях долины, так и в пределах одной террасы.

Представление о температуре многолетнемерзлых пород, слагающих пойму и низкие террасы р. Лены, можно получить из данных табл. 4 и рис. 6-8. Наиболее низкими температурами¹ характеризуются породы, слагающие пойму (от $-2,5$ до -4°) и третью надпойменную террасу (до $-3,4^{\circ}$), поверхность которых в значительной степени заболочена и заторфована.

Породы, слагающие первую и особенно вторую террасы, охлаждены в меньшей степени. Их температура изменяется от $-0,9$ до $-2,5^{\circ}$. Однако и здесь, на заболоченных и заторфованных участках в тыловых частях террас, она также понижается до $-3,6^{\circ}$.

Температура многолетнемерзлых пород, слагающих четвертую надпойменную (Бестяхскую) террасу, колеблется в значительных пределах (см. табл. 4). Это связано со своеобразным строением ее поверхности, определяющим различия в растительном покрове и влажностном режиме пород, а также с довольно широким распространением неполностью промерзающих надмерзлотных вод, препятствующих глубокому проникновению низких отрицательных температур.

В залесенных понижениях у оснований склонов, всхолмлений или на дне заболоченных ложи температура многолетнемерзлых пород изменяется от $-2,3$ до $-2,9^{\circ}$ (скв. 80, 72), на залесенных склонах ложи и озер она повышается до -1 , -2° (скв. 138, 159, 72а).

Наиболее высокая температура многолетнемерзлых песков ($-0,3^{\circ}$) отмечается на сухих повышенных участках, особенно при наличии надмерзлотных вод (скв. 100), и вблизи подозерных таликов.

Многолетнемерзлые породы сравнительно небольшой мощности (15-20 м), залегающие над водоносным таликом в районе р. Улахан-Тары также имеют высокую температуру ($-0,2^{\circ}$, скв. 155).

¹ Сравнение температуры пород проводится по данным замеров на глубине 15 м - у подошвы слоя годовых колебаний температуры.

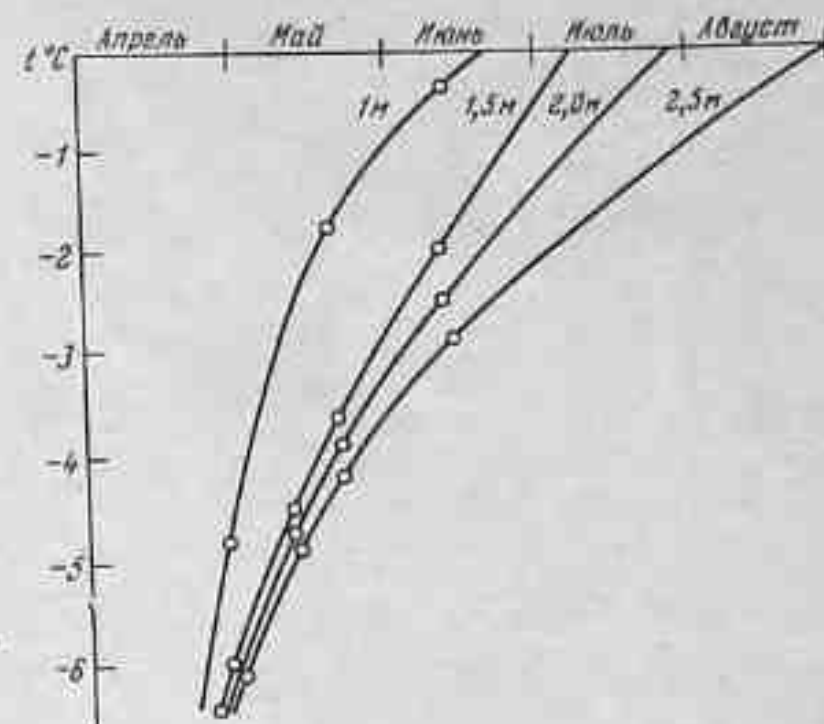


Рис. 5. Изменение температуры сезоннопротаивающих песков в редком лиственном лесу Тунгусинской террасы

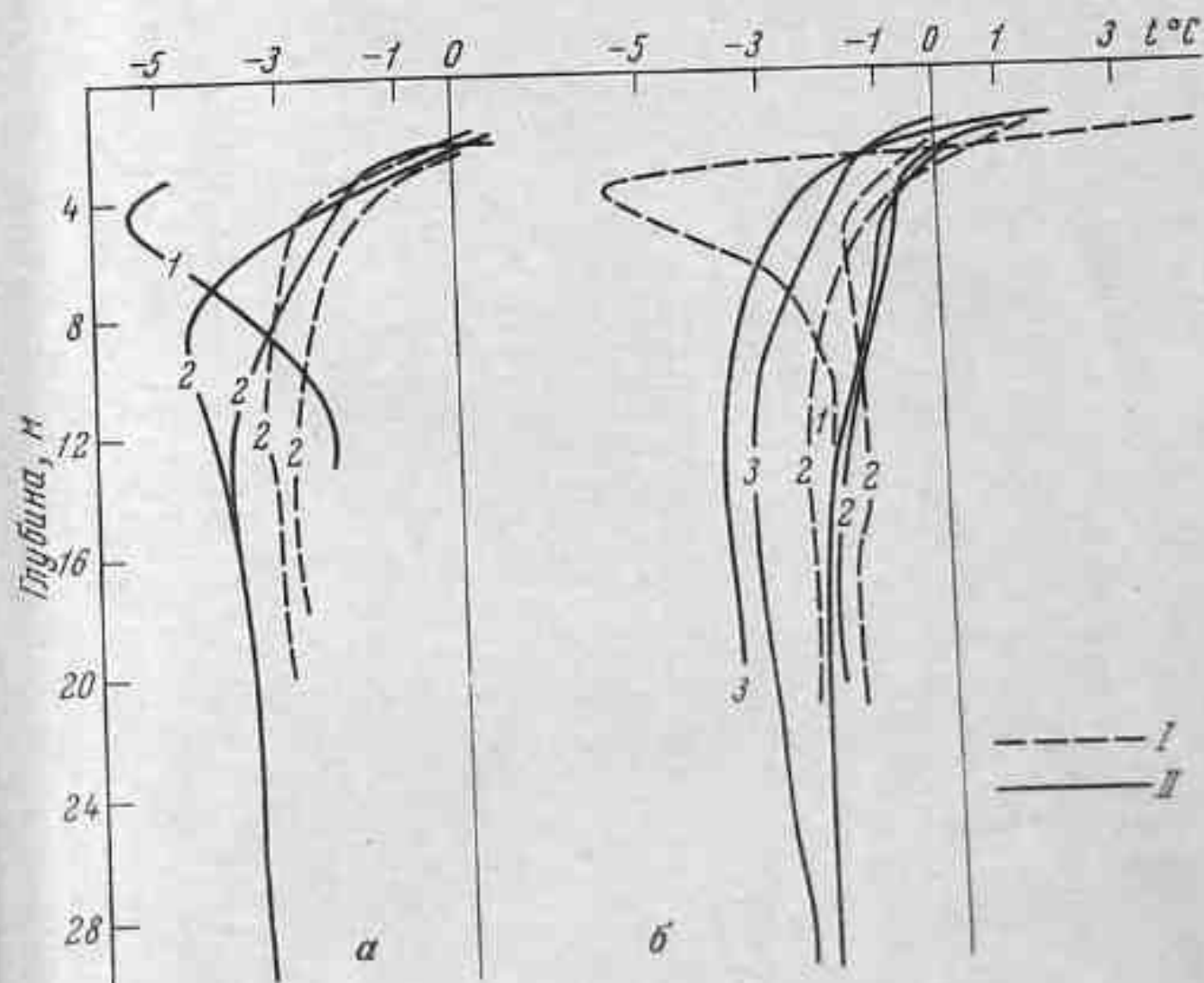


Рис. 6. Характерные температурные кривые
а - многолетнемерзлых пород, слагающих пойму р. Лены (1 - низкую пойму; 2 - высокую пойму); б - многолетнемерзлых пород, слагающих низкие террасы р. Лены (1 - первую надпойменную; 2 - вторую надпойменную; 3 - третью надпойменную); 1 - температура пород на левобережье р. Лены; 2 - то же, на юге правобережья р. Лены

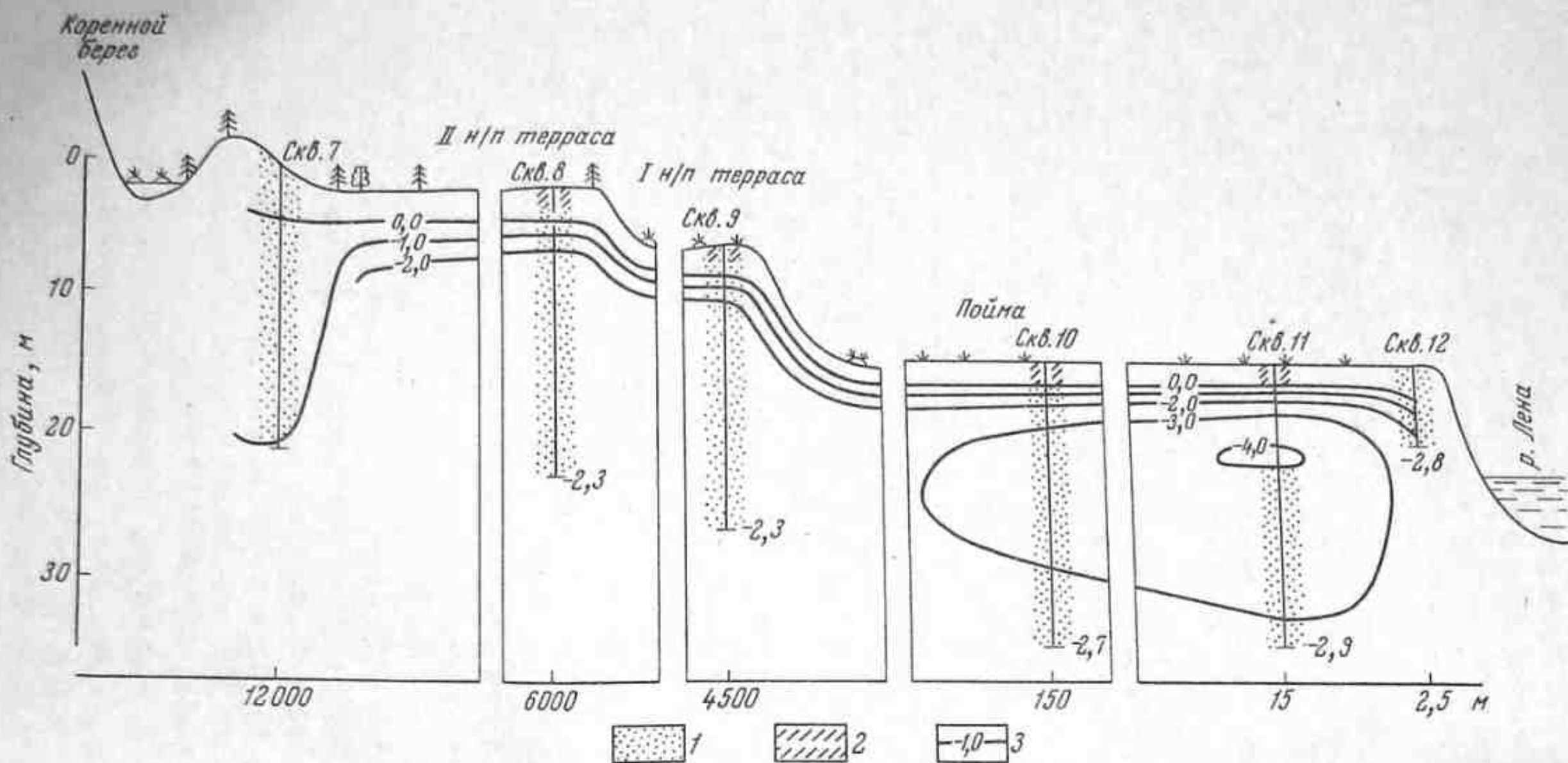


Рис. 7. Температурный профиль через низкие левобережные террасы р. Лены в северной части района (по данным Т.П. Кузнецовой, лето 1960 г.)

I — песок; 2 — супесь; 3 — изолинии отрицательных температур. $^{\circ}\text{C}$

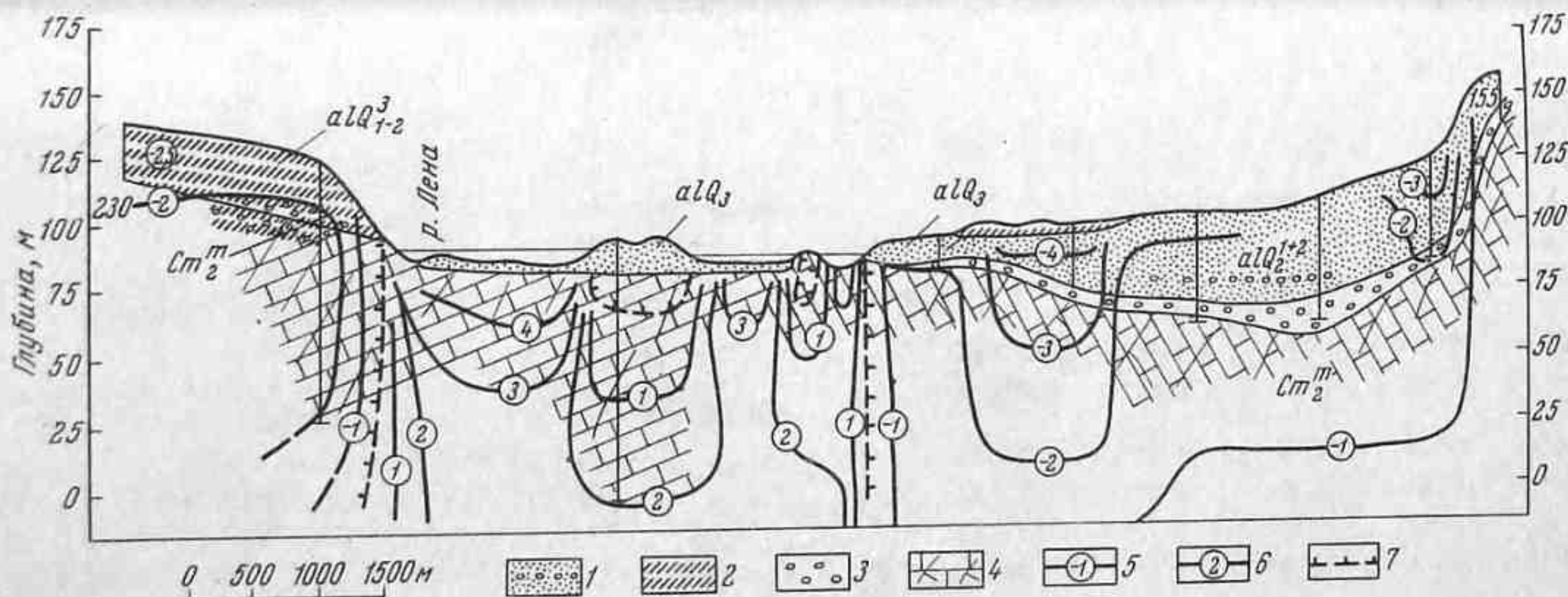


Рис. 8. Температурный профиль через долину р. Лены в районе пос. Покровск (Мощанский и Мулина, 1961)

1 — пески с галькой и гравием; 2 — супеси с прослоями суглинков и песков; 3 — гравийно-галечный горизонт; 4 — известняки трещино- и песков; 5 — изолинии отрицательных температур; 6 — изолинии положительных температур; 7 — граница многолетнемерзлых пород (штрихи обращены в сторону многолетнемерзлых пород)

Т а б л и ц а 4

Температура многолетнемерзлых пород, слагающих террасы р. Лены и ее притоков (°C)

Местоположение и номер скважины	Особенности поверхности	Время замера	5	Глубина, м		
				10	15	20
Д о л и н а р. Л е н ы						
Низкая пойма, правый берег, скв.39	Сырой луг	Ш, 1958	-5,8	-2,9	-2,2	-
Высокая пойма, правый берег, скв. 40	Заболоченность	То же	-4,8	-4,8	-4,0	-3,6
скв. 45	Сырой луг	XI, 1958	-2,8	-3,9	-3,9	-
Высокая пойма, левый берег, скв.11	Луг	УШ, 1960	-3,8	-3,8	-3,1	-2,9
скв.10	То же	То же	-3,3	-3,8	-2,9	-2,7
I надпойменная (Жатайская), правый берег, скв. 41a	Заторфованный участок	X, 1958	-3,2	-4,1	-3,6	-3,5
скв. 156	Сухой луг	УП, 1959	-0,9	-1,1	-1,9	-2,2
I надпойменная (Жатайская), левый берег, скв. 9	То же	УШ, 1960	-2,4	-2,8	-2,5	-2,3
скв. 36	Лес	I, 1958	-4,9	-2,3	-	-
скв. 28	Степной участок	XI, 1966	-3,0	-3,2	-	-
II надпойменная (Сергеляхская), левый берег, скв. 8	Луг	УШ, 1960	-2,6	-2,9	-2,5	-2,3
скв. 7	Песчаный увал, редкий сосновый лес	То же	-0,5	-0,9	-0,9	-0,9
скв. 20	Открытый повышенный участок	Ш, 1963	-1,0	-1,0	-1,2	-1,4
III надпойменная (Кердемская), правый берег, скв. 43	Лиственный лес, заболоченность	X, 1958	-2,6	-3,6	-3,4	-2,9
скв. 41	Лиственный лес, сухой	То же	-1,2	-1,7	-2,0	-1,9
IV надпойменная (Бестяхская), правый берег, скв. 155	Повышение, сосновый лес	У, 1959	-	-0,1	+0,1	+0,1
скв. 100	То же	XI, 1963	+0,3	-0,3	-0,5	-0,5
скв. 102	"	То же	-0,4	-	-0,3	-
скв. 102	"	IY, 1964	-	-0,5	-0,3	-
скв. 80	Низина, лиственный лес	УП, 1963	-3,2	-2,9	-2,3	-2,3
скв. 72	То же	Ш, 1959	-6,8	-3,4	-	-2,9
скв. 72a	Склон долины	То же	-1,0	-1,4	-	-1,6
У надпойменная (Тюнгелюнская), левый берег, скв. 50	Межаласье, лес	УП, 1961	-3,2	-2,4	-2,4	-2,4
скв. 54	Межаласье, опушка леса	То же	-	-2,0	-2,0	-
У надпойменная (Тюнгелюнская), правый берег, скв. 88	Перемычка между аласами	IX, 1963	-2,5	-3,3	-3,1	-2,9
Д о л и н ы м а л ы х п р и т о к о в р. Л е н ы						
I надпойменная терраса р.Ханчалы, скв. 2	Луг	УП, 1960	-3,3	-3,0	-2,9	-2,9
Склон долины р.Ханчалы, скв. 3	Лес	IX, 1960	-2,7	-3,2	-3,1	-3,0
I надпойменная терраса р.Кенкеме, скв. 6	Луг	УШ, 1960	-2,8	-3,1	-2,8	-
Правый берег р.Кенкеме, скв. 6a	То же	IX, 1960	-1,4	-2,1	-1,8	-
Склон долины р.Кенкеме, скв. 6б	Лес	УШ, 1960	-1,5	-2,7	-	-
Левый берег р.Суолы, скв. IIб	То же	IX, 1940	-2,0	-2,6	-	-

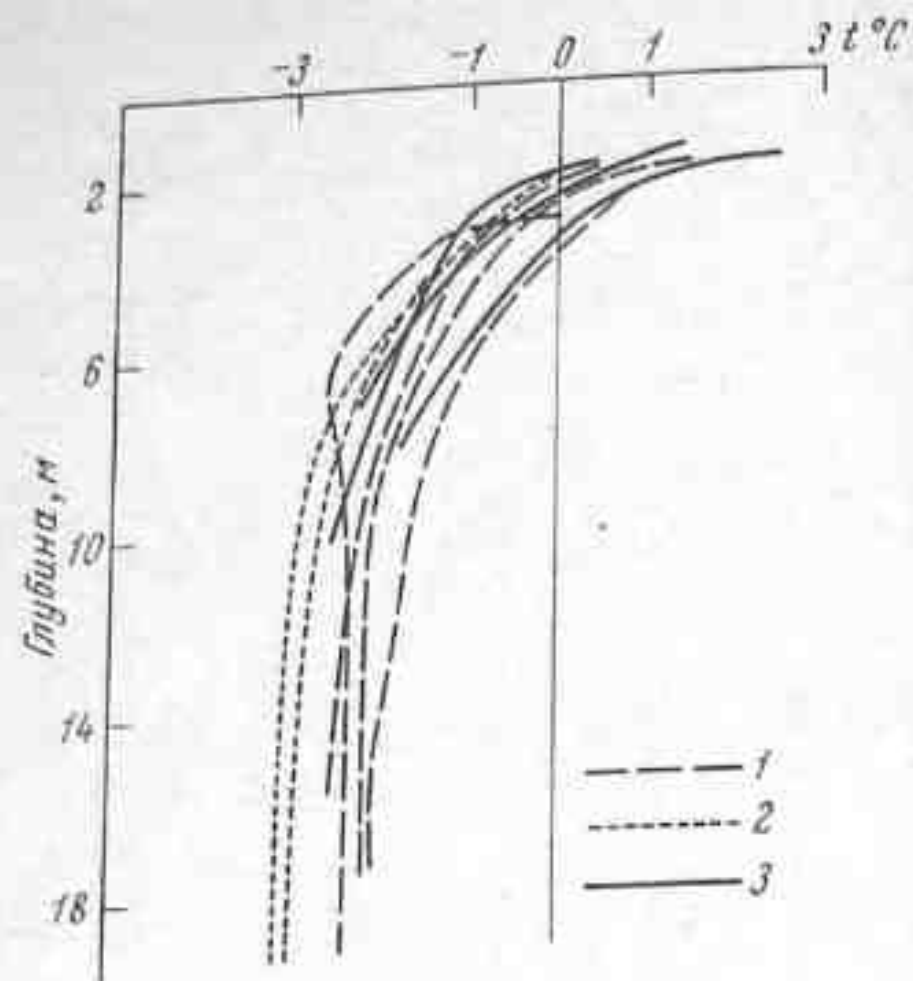


Рис. 9. Характерные температурные кривые многолетнемерзлых пород слагающих межзасасные участки Тунгюлюнской террасы
1 - температура пород на левобережье р. Лены; 2 - то же, на севере правобережья; 3 - то же, на юге правобережья

На правобережной пятой надпойменной (Тунгюлюнской) террасе наиболее низкая температура многолетнемерзлых пород отмечается в густом лиственном лесу (-3° , скв. 90, 135, 152) и на его опушке ($-2,7^{\circ}$, скв. 90, 88). На левобережной Тунгюлюнской террасе, как это видно из рис. 9, температуры пород в аналогичных условиях несколько выше и колеблются от $-1,5$ до $-2,4^{\circ}$ (скв. 56, 54, 50).

На узких межзасных перемычках и на бортах термокарстовых котловин температура многолетнемерзлых пород повышается до -1 , $-1,3^{\circ}$ (скв. 58, 61, 60), что объясняется отопляющим влиянием подозерных (подаласных) таликов. Однако это влияние проявляется лишь на сравнительно небольшом расстоянии от борта котловины и в 50 м уже почти не сказывается (рис. 10). Поэтому на межзасных перемычках шириной более 100 м, даже при наличии с обеих сторон мощных подозерных таликов, температура пород в удалении от борта котловины на 50-70 м сохраняется без существенных изменений (рис. 11).

На шестой надпойменной (Абалахской) террасе температура многолетнемерзлых пород, по данным П.А. Соловьева (1950), близка к температуре пород Тунгюлюнской террасы.

В пределах древней аллювиальной равнины наиболее высокие тем-

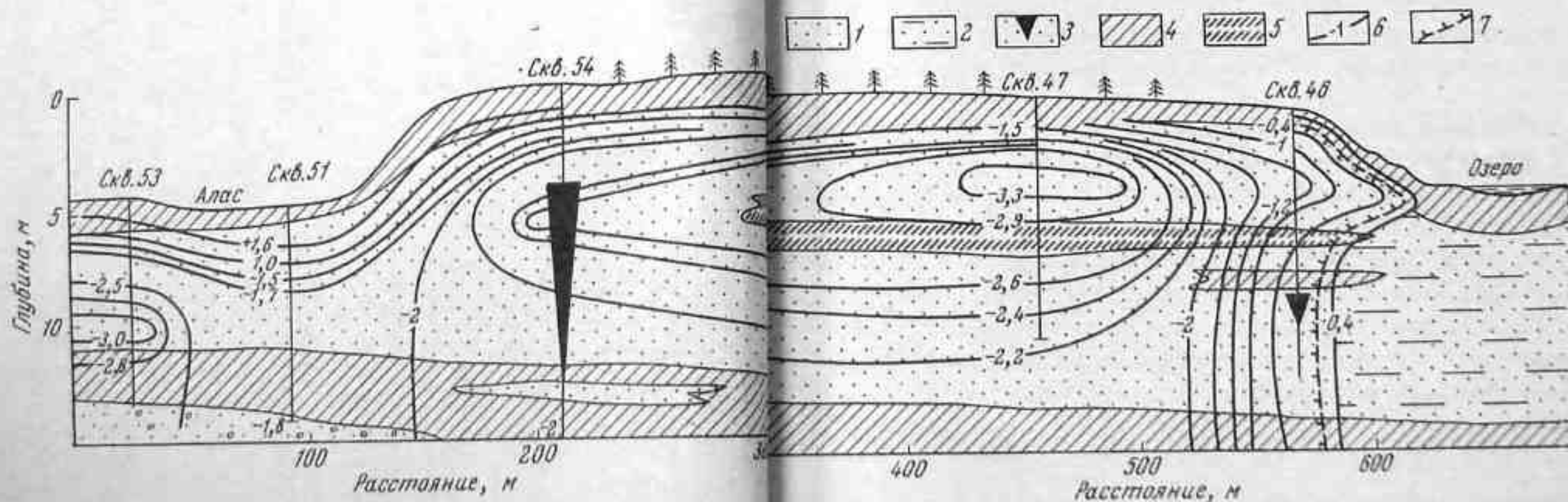


Рис. 10. Температурный профиль через межзасную перемычку
1 - пески; 2 - водоносные пески; 3 - гравийно-жильный; 4 - суглинки; 5 - супеси;
6 - изолинии температур; 7 - граница многолетнемерзлых пород

пературы пород (до -1°) отмечаются на сухих дренированных участках, сложенных галечниковым песком, покрытых сосновым лесом, а также в безлесных урочищах и аласных котловинах. На обширных межаласьях, покрытых лиственничным лесом, температура многолетних мерзлых пород равна -3° . Наиболее охлаждены породы в долинах р. Ханчалы (рис. 12) и Кенкеме (-3°) и в густо залесенных, заболоченных распадках, врезаемых в аллювиальную равнину (до -4°).

Итак, на всех террасах многолетнемерзлые породы наиболее низкую температуру имеют под заболоченными и залесенными участками, наиболее высокую — на открытых сухих, сложенных с поверхности песком.

Температура современных многолетнемерзлых пород, образующихся на обсыхающих участках в озерных котловинах и речных долинах, изменяется от $-0,1$ до $-3,5^{\circ}$, в зависимости от их мощности, литологического состава, удаленности от борта, условий на поверхности (заболоченность, залесенность) и т.д.

Наиболее высокой температурой (от $-0,1$ до $-0,7^{\circ}$) характеризуются маломощные (5–20 м) толщи многолетнемерзлых пород, образовавшиеся в озерных котловинах и на островах над таликами (табл. 5, скв. 99а, 89, 74а, 19).

На прибортовых давно обсохших залесенных или заболоченных участках озерных котловин температура пород наиболее низкая (до $-2,5$; $-3,5^{\circ}$) и вниз по вертикальному разрезу с глубины 5–8 м обычно повышается (см. табл. 5, скв. 75, 95). На давно образовавшихся островах температура многолетнемерзлых пород на глубине 10 м в зависимости от условий на поверхности изменяется от $-1,5$ до $-3,5^{\circ}$.

Из приведенной выше краткой характеристики геокриологических условий района видно, что на заболоченных поймах и низких террасах р. Лены, так же как и на Тунгюлюнской и Абалахской террасах, сложенных с поверхности плоховодопроницаемыми суглинками и покрытых лиственничной тайгой, низкие температуры многолетнемерзлых пород способствуют более быстрому промерзанию таликов под обсыхающими озерными котловинами, чем на Бестяхской террасе и на сухих участках древней аллювиальной равнины, сложенных галечниковыми песками и покрытых сосновым лесом.

Температура пород в подозерных таликах

Температура пород в подозерных таликах оказывает существенное влияние на интенсивность биохимических процессов, а ее изменение по разрезу на протяжении года определяет конвективное перемешивание воды в таликах.

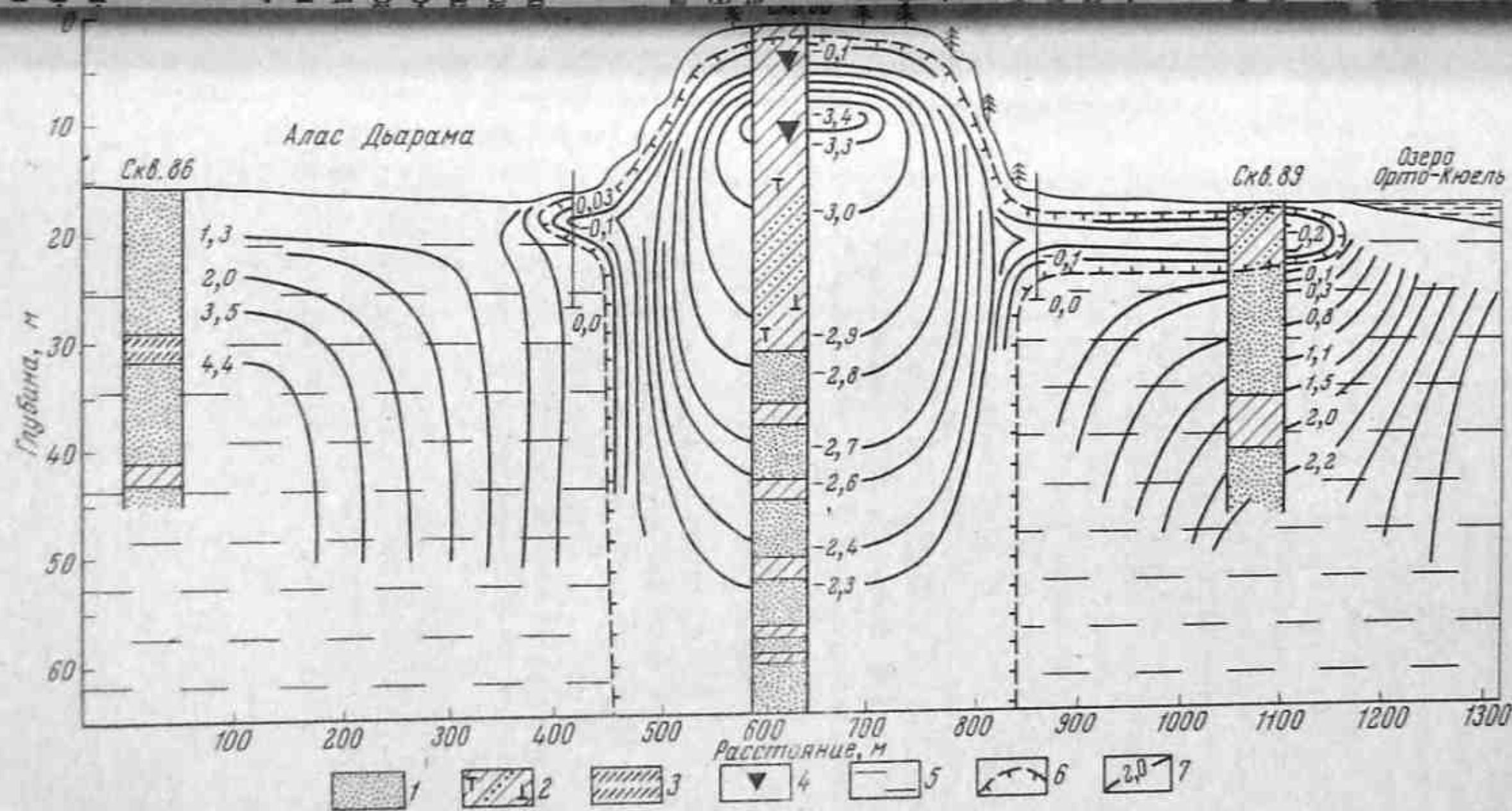


Рис. II. Температурный профиль через перемычку между двумя озерными котловинами с мощными подозерными таликами

1 - пески; 2 - суглинки льдистые с прослоями песка; 3 - супеси; 4 - лед трещинно-жильный;
5 - водоносные породы; 6 - граница многолетнемерзлых пород; 7 - изолинии температур

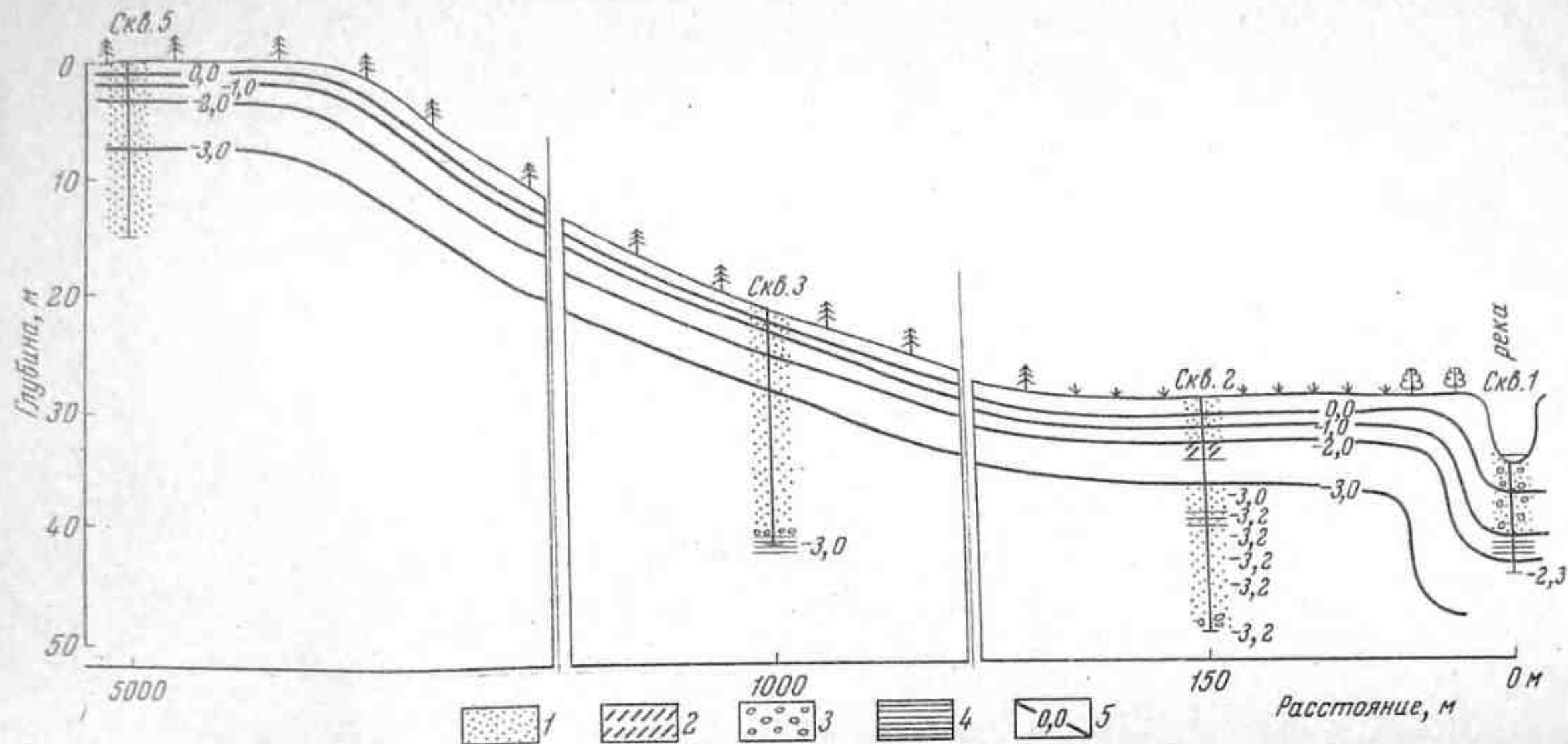


Рис. 12. Температурный профиль через долину р. Ханчалы в пределах аллювиальной равнины (по данным Т.П. Кузнецовой, 1960)

1 - пески; 2 - супеси; 3 - галечник; 4 - глина; 5 - изолинии температур

Как показали геотермические исследования^I, изменение температуры пород в таликах по их вертикальному разрезу и по площади зависит от множества факторов: мощности и площади таликов, отношения площади обсохшей части котловины к подозерной, глубины и температуры воды в озере и ее минерализации, интенсивности биохимических процессов в донных отложениях озер и т.д.

Температура пород в подозерных таликах изменяется от $-0,1$ до $+18^{\circ}$. Наиболее высокие ее значения отмечаются в подозерной части талика, наиболее низкие — в прибортовой, под толщей современных многолетнемерзлых пород.

Годовые изменения температуры пород в верхних слоях таликов в подозерной части происходят под влиянием колебания температуры воды в озерах. Однако вследствие малой теплопроводности илов и слабого водообмена изменение температуры донных отложений происходит медленнее, чем озерной воды.

Интенсивнее прогревается верхний слой разжиженного ила (10–15 см). В более плотных, расположенных глубже слоях повышение температуры замедляется. Так, например, под оз. Сегелей (рис. 13), по данным М.К. Гавриловой (1967), максимальная температура пород на глубине 0,2 м отмечается в июле ($20-24^{\circ}$), на глубине 0,5 м — в начале августа ($12-14^{\circ}$) и на глубине 1 м — в середине августа (12°).

В таликах большой мощности (более 30 м) и в сквозных сезонное прогревание пород на подозерных участках происходит до глубины 4–7 м. Максимальная температура пород на этой глубине под пресными озерами достигает $5-7^{\circ}$ (рис. 14, кривая 3), а под солоноватыми $3,5-5^{\circ}$ (кривая 2). Глубже эта температура в годовом цикле заметных колебаний не претерпевает и по вертикальному разрезу талика изменяется слабо.

В замкнутых подозерных таликах сравнительно небольшой мощности (до 20–30 м) температура пород в подозерной части летом повышается до глубины 1,5–3 м и максимум ее не превышает 3° . Глубже она довольно быстро понижается (кривая 1).

^I Геотермические данные получены по 50 подозерным таликам. Замеры температуры в скважинах проводились психрометрическими термометрами и термисторным устройством, а в донных отложениях озер — термисторным щупом. Такой термощуп, сконструированный в Институте мерзлотоведения, состоит из штанги с заостренной головкой, в которую вмонтированы два термистора. Длина термощупа может регулироваться с помощью навинчивающихся штанг. Термощуп вдавливается в донные отложения вручную, летом с плота, зимой через лунку во льду.

Т а б л и ц а 5
Температура современных многолетнемерзлых пород на об-

участках дна озерных котловин и на островах (°C)

Озеро (алас), остров, номер скважины	Время замера	Глубина, м					Глубина, м								
		2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	15,0	18,0
Таас-Кюель, скв. 75	УП, 1963	-	-2,5	-	-2,8	-	-3,03	-	-	-	-	-	-2,6	-2,3	-2,5
Тюнгюлю, скв. 95	У, 1963	-4,8	-	-4,5	-	-3,1	-	-3,0	-2,6	-2,1	-1,9	-1,7	-1,7	-1,4	-1,5
скв. 96	IV, 1963	-	-0,6	-	-0,1	-	-0,05	-	-	-	-	-	-0,1	-	-
скв. 96	IX, 1963	0,0	-	-0,1	-	-0,1	-	-0,05	0,0	-	-	-	-	-0,1	-
скв. 92	VI, 1963	-2,9	-	-2,7	-	-	-	-	-4,8	-	-4,7	-	-3,0	-	-
скв. 92	IX, 1963	-1,2	-1,4	-2,2	-	-2,1	-	-	-2,8	-	-2,6	-	-2,4	-	-
Куойа, скв. 99а	УШ, 1963	-0,1	-	-0,1	-	-0,1	-0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Туустах, скв. 128а	У, 1958	-	-	-1,9	-2,3	-2,1	-2,4	-2,5	-	-	-	-	-	-	-
скв. 128	VI, 1958	-1,1	-1,6	-1,9	-2,0	-	-1,6	-1,6	-1,1	-1,1	-	-	-	-	-
скв. 131	УП, 1959	-	-	-	-0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,3	-1,1
Хатылыма, скв. 161	УП, 1959	-1,2	-1,2	-2,1	-2,2	-2,1	-2,4	-2,6	-2,6	-2,7	-2,7	-	-2,4	-	-
Юнгестех, скв. 130	VI, 1958	-0,8	-0,9	-1,2	-	-1,1	-1,3	-1,2	-1,0	-	-	-	-	-	-
Карьерный, скв. 51	УП, 1961	-	-1,3	-	-1,7	-	-1,8	-1,8	-	-	-	-	-	-	-
скв. 52	УП, 1961	-1,4	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-	-1,6	-1,6	-	-	-	-	-	-
скв. 53	УП, 1961	-1,6	-1,8	-2,2	-2,5	-2,8	-2,8	-3,0	-2,8	-2,8	-	-	-	-	-
Барбара-Кюель, скв. 66	УП, 1961	-	-	-	-	-0,4	-	-0,4	-1,0	-	-	-1,0	-1,0	-	-
Орто-Кюель, скв. 89	VI, 1963	-0,8	-	-0,6	-	-0,1	-	+0,1	-	-	-	-	-	-	-
	УП, 1963	-0,4	-	-0,4	-	0,0	-	-0,1	-0,03	+0,1	-	-	-	-	-
	УШ, 1963	-	-	-0,2	-	-0,4	-0,1	0,0	-	-	-	-	-	-	-
	IV, 1964	-2,3	-1,4	-0,6	-0,2	-	-	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-	-	-	-
Таас-Кюель, скв. 74а	УП, 1963	-0,1	-	-0,2	-	-0,1	-	-0,7	-0,6	-0,2	-0,1	-0,1	+0,1	-	-
	IX, 1963	-0,4	-	-0,7	-	-0,6	-	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	+0,1	-	-
	IV, 1964	-3,4	-	-2,4	-	-1,4	-0,6	-	0,0	-0,1	-0,2	-0,4	-0,5	-0,1	-
Нтик-Кюель, скв. 19	XI, 1954	-0,5	-	-0,8	-	-	-	-3,4	-3,7	-	-3,7	-	-	-	-
О-в Тойон-Ары, скв. 71	УП, 1959	-1,2	-	-2,3	-	-3,1	-	-0,9	-1,0	-1,0	-1,4	-	-	-	-
скв. 71а	УШ, 1959	0,0	-	-0,4	-	-0,6	-	-0,8	-0,9	-	-1,2	-	-	-1,2	-1,2
скв. 71б	IX, 1959	+0,1	-	-0,4	-	-0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-

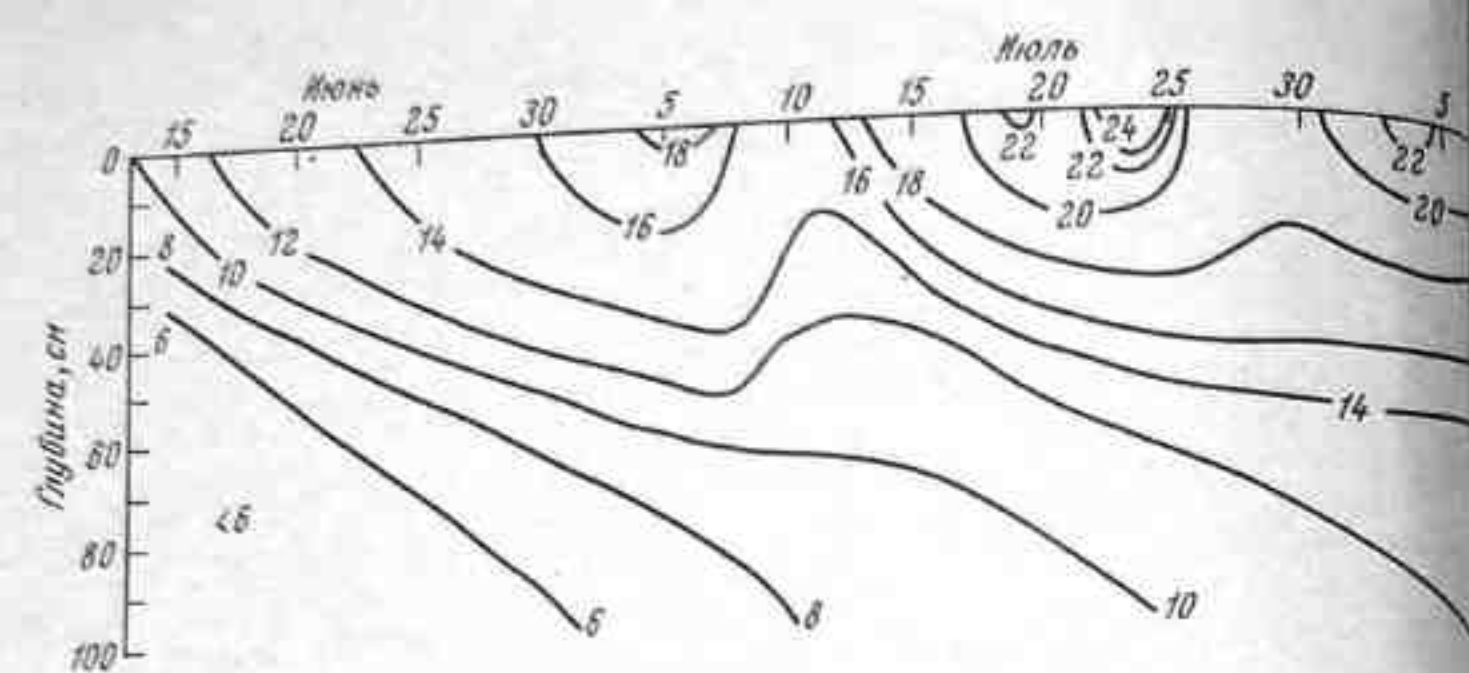


Рис. 13. Изменение температуры в верхнем метровом слое донных слоев оз. Сегелей в 10 м от берега, при глубине озера 120 см (по данным М.К. Гавриловой и П.П. Гаврильева, 19...)

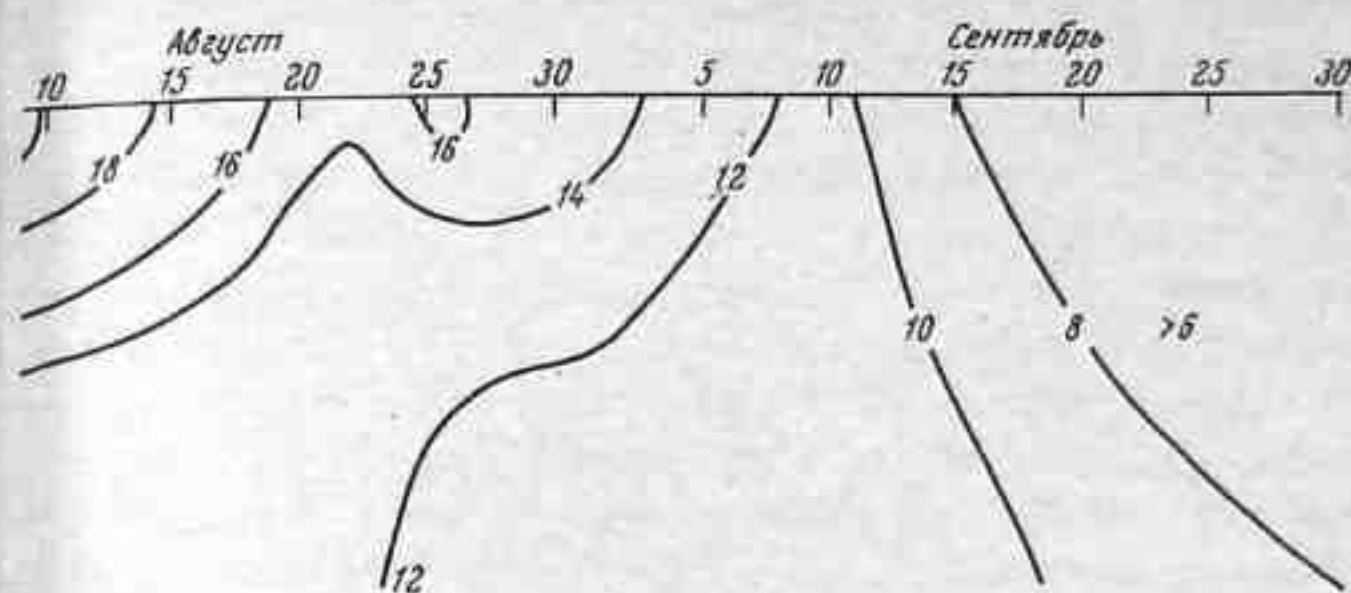


Рис. 14. Температурные кривые, характерные для верхних подослов таликов в конце зимнего периода
1 - в несвязных таликах мощностью до 10-15 м; 2 - в несвязных таликах мощностью до 50-80 м; 3 - в сквозных таликах

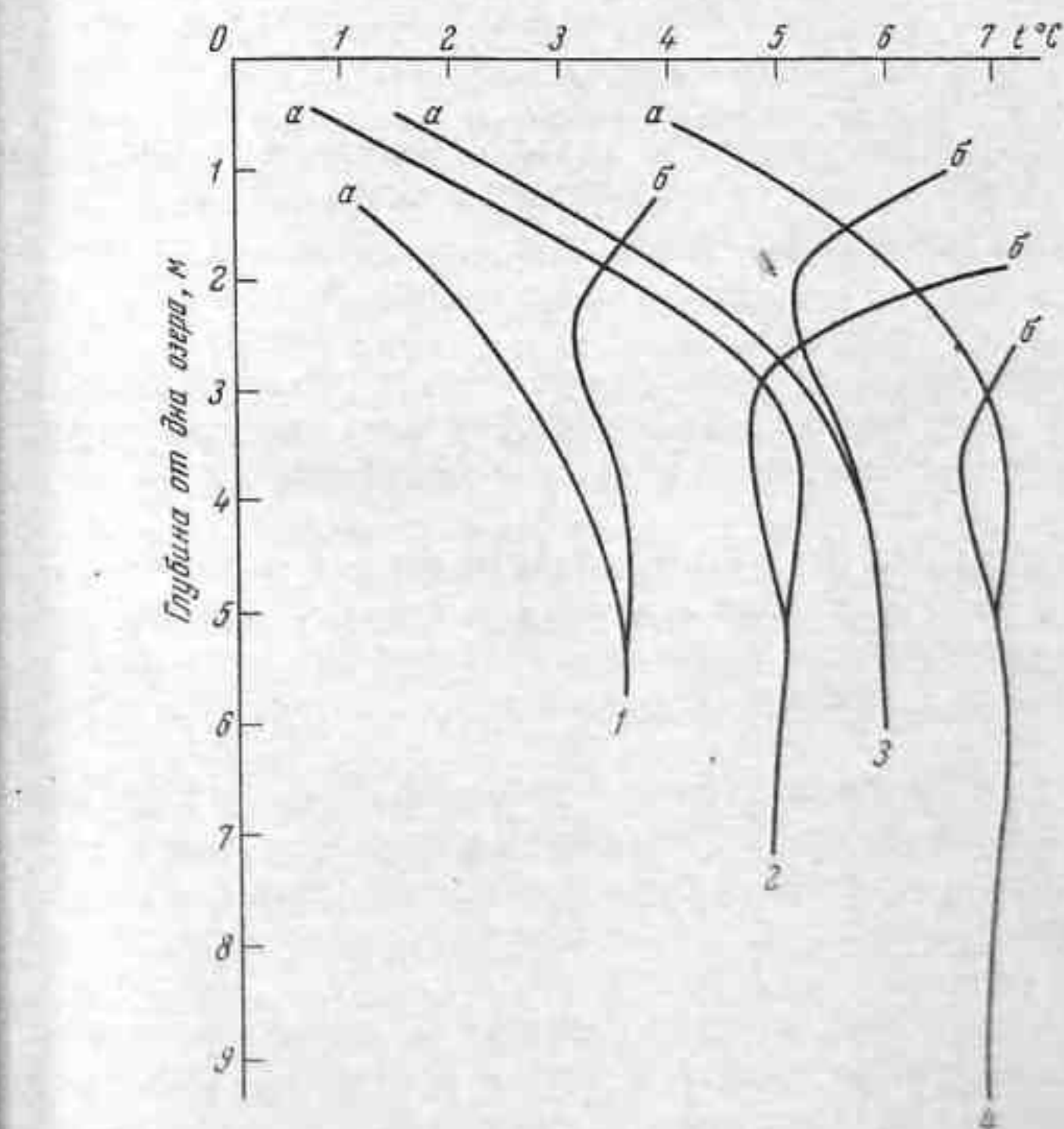


Рис. 15. Изменение температуры пород в верхних слоях сквозных подословных таликов в конце зимнего (а) и летнего (б) периодов при глубине слоя воды
1 - оз. Таас-Кюэль (Амбардах) - 3,7 м; 2 - Чай-Кюэль - 2,2 м; 3 - Таас-Кюэль (Черехов) - 3,0 м; 4 - Куойа - 1,3 м

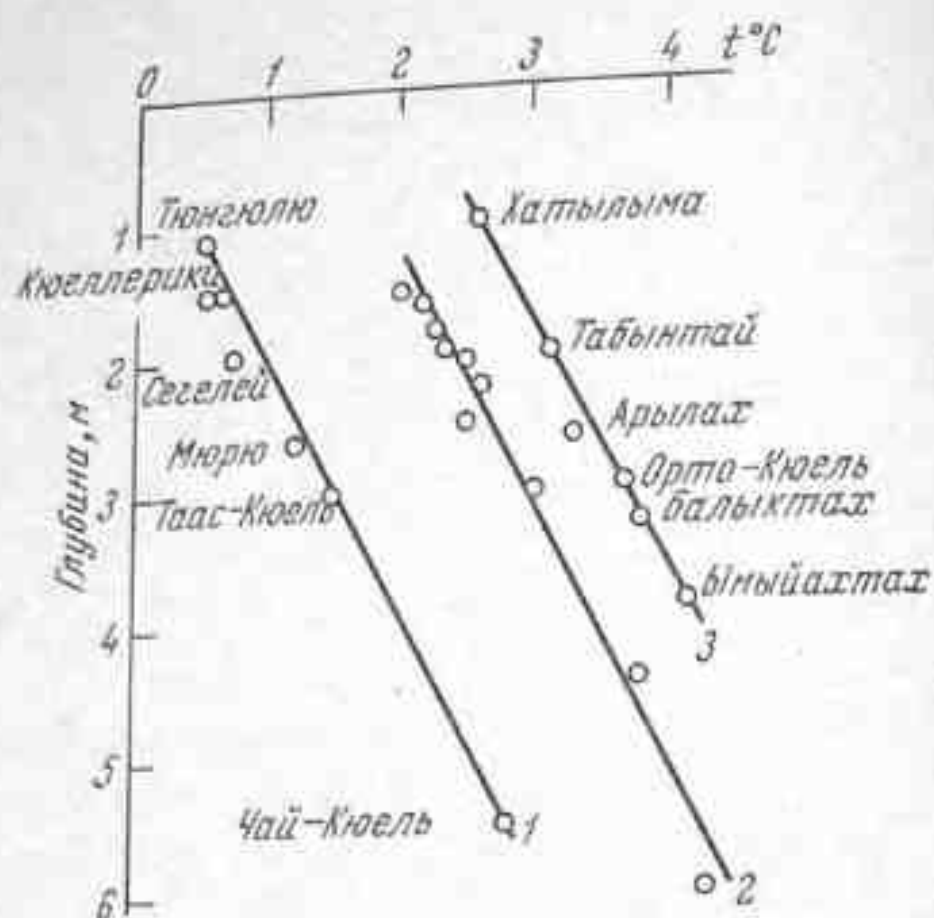


Рис. 16. Изменение температуры донных отложений на глубине 0,5 м в зависимости от колебания слоя воды в озерах
1 — солончатых; 2 и 3 — пресных озера

Охлаждение донных отложений, как и озерной воды, начинается в августе. В конце зимнего периода в слое годовых изменений температуры пород температурный градиент становится положительным (рис. 15).

Как видно из рис. 14 и 15, температура пород в таликах под дном разных озера неодинакова и зависит от мощности таликов, величины озера, от степени их прогревания и охлаждения, что в свою очередь связано с глубиной, минерализацией, прозрачностью воды и т.д.

Наиболее низкие температуры в конце зимнего периода свойственны донным отложениям озера с несквозными маломощными таликами, а наиболее высокие — донным отложениям не промерзающих до дна озера, под которыми талики либо большой мощности, либо сквозные (см. рис. 14).

На рис. 16 показано изменение температуры донных отложений в зависимости от глубины и минерализации воды озера. Из графика видно, что в более глубоких озерах температура донных отложений выше.

В солончатых озерах (см. рис. 16, кривая 1) верхние слои донных отложений на глубине 0,5 м в конце зимы охлаждены в большей степени, чем в пресных (кривые 2 и 3).

Кривая 2 характеризует зависимость температуры донных отложений от глубины пресных озера, находящихся на песчаной Бестяхской террасе. Более низкая температура, по-видимому, объясняется меньшей величиной озера и охлаждающим влиянием надмерзлотных вод.

Кривая 3 характеризует зависимость температуры донных отложений от глубины крупных озера, расположенных в эрозионно-термокарстовых долинах. Температурные и гидрохимические условия в таких озерах наиболее благоприятны для интенсивного развития органической жизни и, следовательно, для образования ила. Мощность озерных отложений в них (включая верхний разжиженный слой ила) достигает 5–7 м. Можно предположить, что интенсивные биохимические процессы, протекающие в толще илов, являются дополнительным источником тепла, а поэтому температура донных отложений таких озера сравнительно высокая даже в конце зимнего периода: 2,5–4° на глубине 0,5 м и 6–7° — на глубине 2,5–15 м.

Вниз по разрезу зависимость температуры донных отложений от глубины озера постепенно ослабевает. Уже на глубине 2 м от дна температура пород под озерами одной группы почти одинакова, несмотря на различный слой воды в них.

Таким образом, на основании данных температурных замеров пород в верхней 3–5-метровой толще таликов под озерами, сравнительно легко получаемых с помощью вышеописанного термощупа, можно иметь приблизительное представление о температуре пород в глубжезалегающей толще талика, о его мощности и интенсивности биохимических процессов в верхних слоях.

В таликах различной мощности температура пород по вертикальному разрезу в слоях глубже 3–5 м изменяется неодинаково. Под зрелыми термокарстовыми озерами тепловой режим таликов более стабилен и температура пород по разрезу понижается весьма медленно, а в таликах небольшой мощности под развивающимися озерами — более интенсивно.

Талики большой мощности (до сквозных) с высокой температурой пород (5–7°) распространены под пресными озерами площадью более 1 км² на Бестяхской и Тюнгюлюнской террасах (табл. 6, скв. 145, 158). Таковы, например, талики под озерами Хаха (№ 270), Хаттылыма (№ 259), Тибили-Кюель (№ 201), Табынтай (№ 204), Усун-363 (№ 476), Орто-Кюель (№ 175), Балыктах (№ 174), Матта (№ 141).

В сквозных таликах с солончатой водой под озерами Таас-Кюель, Чай-Кюель температура пород не превышает 4–5°.

При обмелении озера и обсыхании дна котловин начинается охлаждение пород талика.

Таблица 6

Температура пород в подозерных таликах ($^{\circ}\text{C}$)

Глубина, м	Под озерами				Под обсохшими частями озерных котловин					
	Хатыльма, скв. 145		Хаха, скв. 153		Туустах, скв. 127		Нтык-Кюель, скв. 18		Орто-Кюель, скв. 89	
	УІ, 1958	ІУ, 1959	У, 1959	УІ, 1959	ІІІ, 1958	УІ, 1959	УІ, 1960	УІІІ, 1960	ІХ, 1963	ІХ, 1964
	УІ, 1958	ІУ, 1959	У, 1959	УІ, 1959	ІІІ, 1958	УІ, 1959	УІ, 1960	УІІІ, 1960	ІХ, 1963	ІХ, 1964
2,0	-	2,5	-	-	-	0,4	0,8	2,4	-	-
3,0	-	4,7	-	-	-	0,5	0,7	1,0	-	-
4,0	4,6	5,2	-	-	-	-	0,5	0,6	-0,1	-
5,0	-	5,7	-	-	-	0,5	0,5	0,6	-0,03	0,1
6,0	5,5	5,7	-	-	-	-	0,4	-	0,07	0,1
7,0	-	5,8	-	-	-	0,5	0,2	0,6	0,3	-
8,0	5,8	5,8	-	-	-	0,5	0,0	0,4	0,4	0,1
9,0	-	5,9	-	-	-	0,5	0,0	0,4	0,5	-
10,0	6,0	6,0	5,5	-	-	-	0,0	0,1	0,7	0,1
12,0	6,0	6,1	5,5	5,8	-	-	0,0	0,0	0,8	0,1
13,0	-	6,1	5,5	5,6	-	-	-	-	0,9	-
14,0	6,1	6,1	-	-	-	0,4	-	0,0	1,0	1,1
15,0	-	6,1	5,4	5,6	1,0	-	-	-	1,1	-
16,0	6,1	-	-	-	-	-	-	-	1,3	1,1
17,0	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4	-
18,0	-	-	5,4	5,6	-	0,4	-	-	-	1,5
19,0	-	-	-	-	-	-	-	-	1,5	-
20,0	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	1,1
21,0	-	-	-	-	0,4	-	-	-	1,7	-
22,0	-	-	-	-	-	-	-	-	1,9	1,5
23,0	-	-	-	-	-	-	-	-	2,1	-
24,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,1
25,0	-	-	-	-	-	-	-	-	2,2	2,1
30,0	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-
40,0	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-
45,0	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-

Под обсохшими частями озерных котловин										
Таас-Кюель, скв. 74а				Чай-Кюель, скв. 101		Сегелей, скв. 94а		скв. 93	Дъарама, скв. 86	Куойа, скв. 98
ІХ, 1963	ІУ, 1964	ІХ, 1963	ІУ, 1963	ІУ, 1964	УІІІ, 1964	У, 1963	У, 1963	У, 1963	ІУ, 1964	УІІІ, 1963
-	-	3,7	-0,4	0,1	-	2,0	-0,4	-0,5	-0,5	3,1
-	-	2,3	-0,5	-	1,4	1,7	0,05	-0,1	0,3	-
-	-	2,2	0,9	1,1	-	2,4	1,0	0,1	0,9	-
-	-	2,1	1,2	-	-	3,1	1,2	0,3	-	-
-	-	-	-	-	2,4	4,0	1,6	0,3	1,5	-
-	-	2,1	1,7	1,9	-	4,7	1,8	0,3	1,8	4,0
-0,1	-0,1	2,2	1,9	-	-	5,2	1,9	0,3	2,3	-
0,1	0,0	2,5	1,9	2,4	-	5,4	-	0,3	2,4	4,8
0,3	0,1	3,1	2,0	2,7	2,9	5,5	-	0,2	2,6	-
0,6	0,3	-	-	2,9	-	5,5	-	0,1	2,9	-
0,6	0,4	-	-	-	-	5,5	-	0,1	3,0	5,4
0,7	0,4	-	-	3,1	-	5,3	-	0,1	3,3	-
0,9	0,5	-	-	-	-	5,2	-	0,0	3,3	4,1
0,9	0,6	-	-	3,2	-	5,1	-	-	3,4	-
1,0	0,7	-	-	-	-	5,0	-	-	3,7	-
1,0	0,9	-	-	3,6	3,6	4,9	-	-	3,7	-
1,0	0,9	-	-	-	-	4,9	-	-	3,8	4,1
-	-	-	-	3,7	-	4,8	-	-	3,9	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,2	-
-	-	-	-	-	3,6	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	-
-	-	-	-	3,8	3,6	-	-	-	-	-
-	-	-	-	3,6	3,6	-	-	-	-	-
-	-	-	-	3,6	3,5	-	-	-	-	-
-	-	-	-	3,5	3,5	-	-	-	-	-

В таликах под обмелевшими участками озер и под недавно обмелевшими частями дна, где промерзшие за зиму слои летом снова протаивают, охлаждение пород происходит медленно и отмечается сравнительно высокая температура пород (см. табл. 6, скв. 101 - в котловине оз. Чай-Кюель, скв. 74 - в котловине оз. Таас-Кюель и др.). Весьма показательны в этом отношении геотермические данные, полученные по скважине, пробуренной в центре недавно обсохшего аласа Дъарама, примыкающего к эрозионно-термокарстовой долине (см. табл. 6, скв. 86). В сороковых годах настоящего столетия оз. Дъарама было полноводным, к 1953 г. оно высохло наполовину, к 1963 г., после перекрытия впадающего в него ручья, в котловине сохранились лишь небольшие мелководные (глубиной до 0,5 м) остаточные озера, занимающие в общей сложности ее 1/8 часть. Зимой вода в них полностью замерзает, а летом нагревается до 26-28°. В центральной части аласа образование многолетнемерзлых пород еще не началось. Песчаные породы, слагающие его дно, за зиму промерзают до 2-2,5 м и в первой половине лета полностью протаивают. Геотермические наблюдения по скв. 86 показывают, что талик еще не заледенел. Однако процесс охлаждения и промерзания талика замедлен благодаря хорошей водопроницаемости слагающих его песчаных пород, отсутствию сверху многолетнемерзлых пород, наличию в котловине остаточных водоемов, температура воды в которых летом достигает 28°, и сравнительно невысокой минерализации воды в талике. Поэтому под центральной частью аласа Дъарама температура пород в талике еще сравнительно высокая (2,5-3°), а на приборосных участках, даже при отсутствии многолетнемерзлых пород сверху, она близка к 0° (см. рис. II).

С образованием многолетнемерзлых пород на обсохших частях котловин начинается более интенсивное охлаждение таликов сверху, что видно из данных температурных замеров по скв. 89, пробуренной на узком обсохшем мысе, вдающемся в оз. Орто-Кюель (см. рис. II и табл. 6).

Повышенная минерализация воды в таликах способствует их охлаждению. В сквозном талике под центральной частью аласа Туу-Дегеди, где образование многолетнемерзлых пород сверху еще не началось, а минерализация воды 2,5 г/л, температура пород равна 0,4-0,8° (см. табл. 6, скв. 127).

В несквозных таликах сравнительно небольшой мощности промерзание пород происходит как сверху, так и снизу. Для примера приведем геотермический разрез талика в котловине оз. Уу-Дегедики в июле 1963 г. (рис. 17). Ближе к борту по всей 15-метровой толщине водонасыщенных пород температура отрицательная, близкая к нулю.

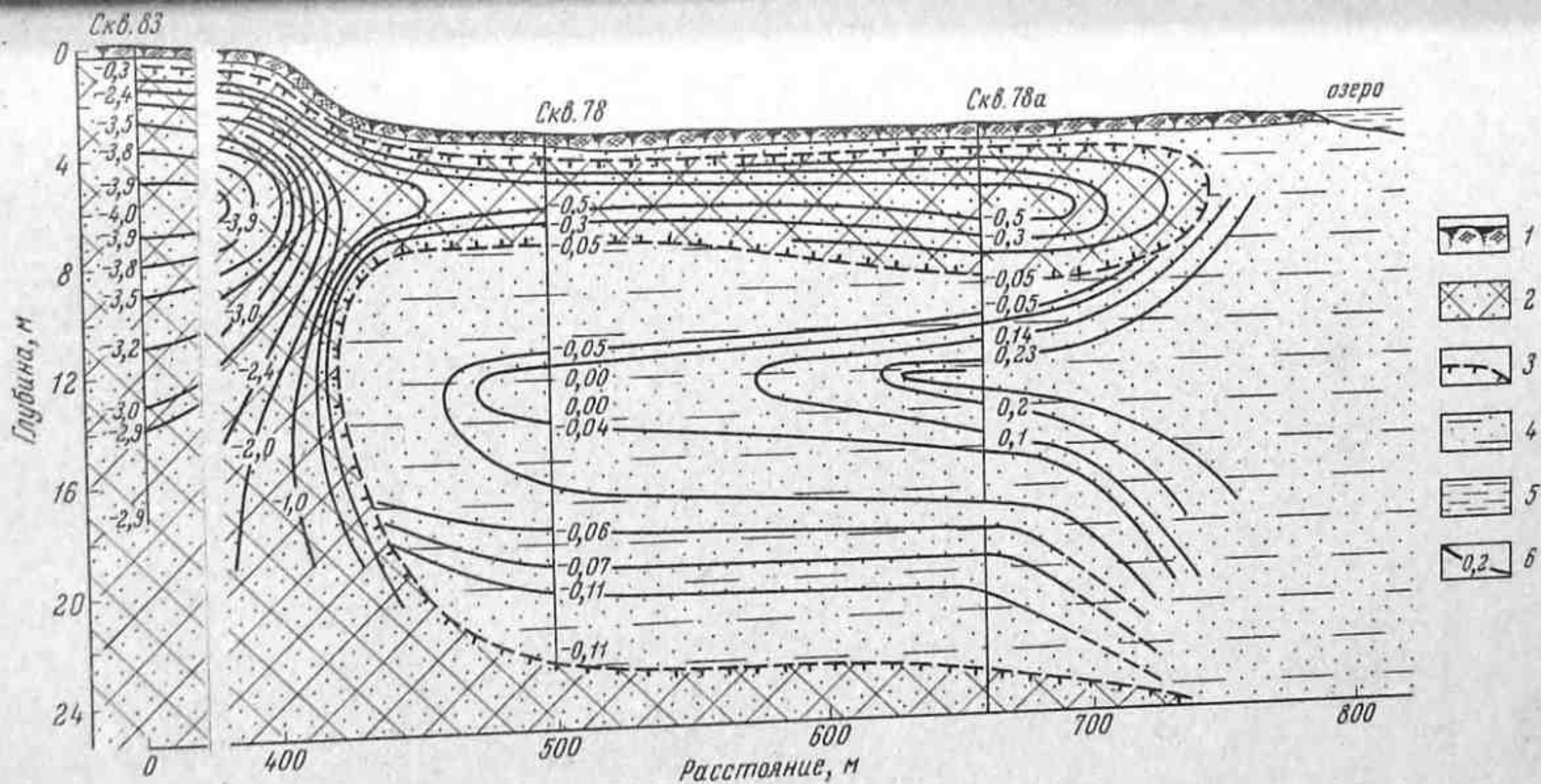


Рис. 17. Температурный профиль через несквозной подоцерный талик в пределах Бестяхской террасы (июль 1963 г.) (по Анисимову Н. П.)

1 - почвенно-растительный слой; 2 - многолетнемерзлые пески; 3 - граница многолетнемерзлых пород; 4 - водоносные пески; 5 - вода в озере; 6 - изолинии температур

Таблица 7

Температура пород в подрусовых таликах (°C)

Река, номер скважины	Время замера	Глубина, м																			
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	10,0	12,0	25,0	30,0
Тамва, скв. 126	У, 1959	1,1	-	0,4	-	0,1	-	0,3	-	0,4	-	0,4	-	0,8	-	0,5	-	0,3	0,3	-	-
	УП, 1959	-	11,8	-	4,0	-	3,0	-	2,0	-	2,0	-	-	-	-	-	2,0	-	-	-	-
Суола, скв. 115	Х, 1940	-	5,7	8,5	6,9	6,6	6,3	4,6	4,6	-	3,8	-	-	-	0,8	-	-	0,0	-	0,3	-
	Ш, 1941	-	4,5	3,5	0,5	0,1	0,8	-	-	-	0,7	-	-	-	0,5	-	-	0,1	-	-	-
Кенкеме, скв. 27	УП, 1965	12,2	9,8	7,1	4,6	2,2	1,7	1,0	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	-	-	-	-	-	-	-
	Х1, 1965	-0,9	-0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,0	-	-	-	-	-	-	-
Лена (остров), скв. 37	Ш, 1958	-	-7,4	-	-2,7	-	-0,2	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	0,1	0,3

Примечание. Данные по скв. 126 - Н.П.Анисимовой; скв. 115 - П.А.Соловьева; скв. 27 - А.И.Демина; скв. 37 - экспедиции Гидропроекта.

В 120 м от уреза воды в озере (скв. 78а) отрицательные температуры отмечаются лишь у верхнего и нижнего контактов с многолетнемерзлыми породами, а в средних слоях талика они положительные.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что наиболее высокая температура пород в таликах ($5-7^{\circ}$) встречается под значительными по площади пресными неполностью промерзающими озерами, а под обмелевшими и обсохшими частями котловин происходит охлаждение таликов, что сказывается на интенсивности биохимических процессов в верхних частях таликов, с которыми связаны изменения в химическом составе иловых растворов.

В подрусловых таликах малых рек, сложенных хорошеводопроницаемыми песками, температура пород на протяжении года изменяется на $1,5-2^{\circ}$. Так, в талике под обсыхающим руслом р. Таммы температура пород в начале мая в интервале 3-12 м равна $0,3-0,8^{\circ}$, а в июле — $2-3^{\circ}$ (табл. 7, скв. 126). Аналогичные изменения температуры пород отмечаются и в 10-метровом талике под р. Суолой.

В подрусловом талике р. Лены систематических геотермических исследований не проводилось. Несколько замеров температуры имеется по скважинам, пробуренным экспедицией Гидропроекта в 1958 г. В подрусловом талике, вскрытом под слоем многолетнемерзлых пород на острове, температура пород на глубине 35 м была $0,4^{\circ}$, а в скважине, пробуренной зимой на русловой отмели, на глубине 16 м она равнялась $1,6^{\circ}$. Изменение температуры по профилю подруслового талика р. Лены в районе пос. Покровск видно из рис. 9.

В гидрогеологическом отношении рассматриваемая территория относится к юго-восточной части Лено-Вилуйского артезианского бассейна, являющегося составной частью сложного Якутского артезианского бассейна, крупнейшего в СССР по площади и мощности сложенных его осадочных отложений.

Как было показано в гл. I, в геологическом строении бассейна принимают участие кембрийские, юрские, меловые, неогеновые и четвертичные отложения. В связи со значительными колебаниями мощности многолетнемерзлых пород и наличием среди них участков с повышенной температурой водоносность пород весьма неравномерна, особенно в пределах верхней 400-метровой толщи.

Четвертичные отложения, так же как и подстилающие их рыхлые неогеновые, водоносны лишь в пределах таликовых зон и в маломощных слоях сезонного протаивания.

Меловые, юрские и кембрийские отложения в основном водоносны в подмерзлотных горизонтах. В таликовых зонах известняки среднего кембрия обычно водоносны, а юрские песчаники не всегда водоносны, что связано с неодинаковой их трещиноватостью и пористостью. Затрудняет взаимодействие подмерзлотных вод с поверхностными через сквозные талики.

Подземные воды четвертичных и неогеновых отложений

Подземные воды, приуроченные к четвертичным и неогеновым отложениям, по отношению к толще многолетнемерзлых пород, по классификации Н.И. Толстихина (1941), относятся к надмерзлотным, межмерзлотным и редко к подмерзлотным. Надмерзлотные — воды сезонно протаивающих слоев и несквозных таликов, межмерзлотные — воды сквозных, реже несквозных таликов, подмерзлотные — воды промерзающих сверху сквозных таликов.

Воды сезонноталого слоя

Подземные воды в сезонноталых слоях всех генетических типов четвертичных отложений, встречающихся в районе, распространены повсеместно.

На большей части территории в сезонноталых слоях, сложенных плоховодопроницаемыми пылеватými супесями и суглинками, содержатся поровые воды, составляющие естественную влажность пород. Мало-мощные порово-пластовые воды в таких породах появляются лишь на локальных участках: на свежих вырубках и гарях, где резко увеличивается глубина протаивания льдистых пород, а также по бортам развивающихся термокарстовых котловин. Наиболее благоприятные условия для формирования порово-пластовых вод создаются на участках, где сезоннопротаивающие слои пород сложены хорошо фильтрующими песками и галечниками. В питании таких вод основное значение имеют атмосферные осадки, а на поймах рек и островах значительную роль играют паводковые речные воды.

В связи с малой глубиной сезонного протаивания пород (в среднем 1,5–2,5 м) и сравнительно небольшим годовым количеством атмосферных осадков (около 200 мм) мощность обводненного слоя колеблется от 0,5 до 2 м. Водоносность его на протяжении года изменяется в зависимости от количества выпадающих осадков и промерзания. Водопитоки в шурфы в период дождей достигают 1 л/сек, а в засушливый период снижаются до 0,01–0,02 л/сек. В процессе промерзания мощность обводненного слоя уменьшается, вода в нем приобретает напор.

Стекая по уклонам местности, такие воды скапливаются у оснований склонов ложи, озерных котловин, террас, заболачивают плоские низины, а в распадках и оврагах питают сезонно действующие источники. Особенно большое количество таких источников появляется после дождей. В засушливый период сохраняются лишь наиболее крупные из них. Дебиты источников колеблются от 0,7 до 10 л/сек, температура воды в августе, в период максимального протаивания пород, изменяется от 2 до 7°. Воды слабоминерализованные (0,05–0,2 г/л), чаще гидрокарбонатного кальциевого состава.

Сезонность существования, малые запасы и весьма неблагоприятные в санитарном отношении условия залегания вод сезонноталых слоев снижают их ценность как источника водоснабжения. Тем не менее они используются населением для местных хозяйственно-технических нужд (например, в поселках Хатылмы, Н.Бестях, Намсыр, в окрестностях г. Якутска). Зимой надмерзлотные воды обычно промерзают.

Лишь при благоприятных геолого-морфологических условиях они сохраняются весь год в небольших таликах у оснований песчаных склонов, в незначительных понижениях и т.д.

Воды таликов¹

Существование таликов в толще многолетнемерзлых пород в большинстве случаев связано с отепляющим влиянием поверхностных и подземных вод. В пределах описываемой территории широко распространены кондуктивно-инфильтрационные присклоновые, подозерные и подрусовые талики. Наряду с последними в долинах рек встречаются также реликтовые талики в отложениях террас, генетически связанные с подрусовыми и подозерными.

В зависимости от положения таликов в толще многолетнемерзлых пород, содержащиеся в них воды могут быть отнесены к надмерзлотным или межмерзлотным. Воды реликтовых таликов, сохранившихся на отдельных участках в основании речных террас и в промерзающих сквозных подозерных таликах, по условиям залегания иногда могут быть отнесены к подмерзлотным.

Присклоновые талики встречаются в нижних частях склонов озерных котловин, речных террас и распадков, сложенных хорошофильтрующими породами, на участках, где конфигурация склона и водосборной площади способствует равномерному стоку, направленному к основанию склона.

Питание подземных вод присклоновых таликов осуществляется, в основном, надмерзлотными водами местного стока. По отношению к толще многолетнемерзлых пород такие талики являются надмерзлотными, иногда они могут быть связаны с межмерзлотными и подмерзлотными.

Присклоновые талики озерных котловин² обычно соединяются с подозерными. При большой водосборной площади надмерзлотные воды присклоновых таликов обеспечивают полноводность озер, а частый сток из них. По мере прогрессивного обсыхания дна озер присклоновые талики отделяются от подозерных многолетнемерзлыми породами, образующимися в котловине. Прекращение стока воды из присклонового талика постепенно приводит к его полному промерзанию.

¹ В настоящей работе мы приводим характеристику таликов, распространенных в районе, подразделяя их по местоположению и мощности в соответствии с существующими классификациями (Сумгин, 1937; Калабин, 1960; Некрасов, 1963).

² Имеются в виду талики в основании склонов озерных котловин, образованные надмерзлотными водами, стекающими с водосборной площади озер.

Подземные воды присклоновых таликов песчаных речных террас разгружаются в подрусовые и в подозерные талики или выходят на поверхность у основания склона в цирках и оврагах (распадках), врезанных в террасу. Воды выходят на поверхность на тех участках, где низкие террасы полностью проморожены и разгрузка вод в подрусовые талики невозможна. Источники надмерзлотных вод присклоновых таликов встречаются по левому берегу р. Лены у основания склона стометровой террасы, по правому берегу р. Лены — источники Топкий, Оччугуй-Тарын, Мустах-Тарын. Эти источники с дебитом до 10-20 л/сек функционируют большую часть года, реже весь год и зимой образуют наледи. Минерализация их воды изменяется от 0,10 до 0,25 г/л, состав гидрокарбонатный кальциевый или магниевый-кальциевый.

Через присклоновые талики часто разгружаются воды межмерзлотных таликов. Распадки, в которых воды межмерзлотных таликов выходят на поверхность, глубоко врезаны в террасу, дебиты источников достигают 30-80 л/сек (например, источники Суллар, Ерю, Улахан-Тарын).

В отдельных случаях воды присклоновых таликов разгружаются в подозерные талики или озера, расположенные у основания крутых песчаных склонов. В этих озерах состав воды сходен с составом подземных вод присклоновых таликов (например, оз. Беетей в долине р. Менды).

Подозерные талики возникают в результате отепляющего влияния озер¹. Их размеры и форма, запасы воды и ее качество в значительной степени определяются генезисом и размерами озерных котловин, глубиной озер, составом и мощностью четвертичных отложений, водопроницаемостью подстилающих коренных пород и условиями дренирования пород верхней части гидрогеологического разреза. В зависимости от указанных факторов встречаются подозерные талики, сквозные по отношению ко всей толще многолетнемерзлых пород и несквозные (замкнутые), мощностью от нескольких до десятков метров. Первые сложены как аллювиальными, так и подстилающими их коренными породами, а вторые выходят за пределы толщи четвертичных отложений лишь при большой их мощности (более 20 м — на левобережье, более 40-60 м — на правобережье).

Глубина залегания подземных вод подозерных таликов неодинакова: в подозерной части она определяется глубиной озера, а на об-

¹ Реликтовые подозерные талики под обсыхшими термокарстовыми озерами (аласами) принято называть подаласными таликами.

сохших промерзающих участках котловины соответствует мощность новообразованных многолетнемерзлых пород. На этих участках земная вода приобретает криогенный напор, величина которого уменьшается от бортов к центру озерной котловины в соответствии с уменьшением мощности мерзлых пород.

Наибольший напор воды в таликах отмечается в тех озерных котловинах, в которых новообразование многолетнемерзлых пород происходит по всей площади дна. Уровни подземных вод подозерных талик обычно контролируются уровнем воды в озерах.

Химический состав и минерализация воды в подозерных таликах весьма разнообразны, изменяются во времени и неоднородны в разрезе и по площади талика.

Подозерные талики по водопроницаемости слагающих их пород можно подразделить на три наиболее часто встречающиеся группы.

1. Талики сравнительно небольшой мощности (менее 20 м), сложенные слабопроницаемыми породами. Распространены они под небольшими термокарстовыми озерами (аласами) на тех участках Тунгусской и Абалахской террас, где мощность четвертичных линзов достигает 30–40 м. На обсохших участках днища озерных котловин талики интенсивно промерзают.

2. Талики, сложенные хорошо водопроницаемыми породами (пески, галечники, трещиноватые известняки). Мощность их изменяется в значительных пределах, в зависимости от мощности рыхлых четвертичных отложений и водопроницаемости подстилающих их коренных пород. Наряду с несквозными таликами распространены сквозные, иногда соединяющиеся между собой межмерзлотными таликами, разветвленными в нижних слоях толщи четвертичных отложений, или подмерзлотным водоносным горизонтом в подстилающих коренных породах. этой группе относятся подозерные талики низких террас р. Лены, высокой Бестяхской террасы, а иногда и талики под озерами (аласами), находящимися в эрозионно-термокарстовых понижениях.

3. Талики, сложенные переслаивающимися хорошо- и слабопроницаемыми (водоупорными) породами. В них суглинки, залегающие в верхней части, на той или иной глубине сменяются водоносными песками, иногда с прослоями супесей и суглинков. Такие талики имеют большую мощность (вплоть до сквозных) и в основном распространены под термокарстовыми озерами и аласами.

На каждой из террас преобладают подозерные талики одного типа, характеризующиеся одинаковым геологическим строением, аналогичными условиями водообмена и формирования химического состава воды.

Подозерные талики низких террас.
Под многочисленными мелкими пойменными и старичными озерами, имеющими узкую вытянутую форму, мощность таликов менее 20 м. Под озерами глубиной 2–3 м, шириной 100–200 м она увеличивается до 30–40 м. Сквозные талики, по-видимому, возможны лишь под редкими, наиболее крупными озерами (в диаметре более 0,3 км) в северной части района, где мощность рыхлых отложений увеличивается за счет неогеновых песков.

Поскольку в подозерных таликах низких террас плоховодопроницаемые юрские отложения не водоносны, полезным горизонтом являются лишь маломощные аллювиальные пески. Дебиты скважин в них 0,3–0,6 л/сек при понижении на 3–4 м. Минерализация воды в таликах под постоянно или периодически проточными озерами не превышает 0,4–0,7 г/л, в ионном составе преобладают гидрокарбонаты, кальций, магний, реже натрий.

Под обсохшими мелководными озерами глубиной менее 1 м мощность таликов обычно 0,5–1,5 м. При отсутствии стока минерализация воды в них зачастую превышает 1 г/л.

На низких левобережных террасах р. Лены, где широко распространены засоленные почво-грунты (солончаки), встречаются промерзающие подозерные талики с минерализацией воды 2,5–4 г/л (см. табл. 30, талик под оз. Круглым на территории Института мерзлотоведения, скв. 21–22).

В реликтовых подозерных таликах под обсохшими котловинами минерализация воды иногда достигает 60 г/л при сульфатно-хлоридном натриево-магниевом составе (в талике, вскрытом скв. 28 на левобережной первой надпойменной террасе).

Несмотря на то что на низких террасах большинство старичных озер, располагающихся цепочкой, соединяется в паводок, связь между их подозерными таликами обычно нарушена мерзлыми перемычками. Сравнительно быстрому промерзанию пород на обсыхающих участках днища озерных котловин способствуют слабая водопроницаемость залеженных мелкозернистых песков, небольшая мощность таликов, отсутствие подземного стока и низкие температуры окружающих многолетнемерзлых пород.

Как видно из рис. 18, породы под узким (15–20 м) полуостровом, врезающимся в оз. Ытык-Кюель, промерзли на всю мощность подозерного талика. Это обстоятельство необходимо учитывать при подсчете запасов воды в таликах под озерами низких террас.

Подозерные талики высоких террас.
На высоких террасах, где четвертичные отложения, представленные песками и озерно-аллювиальными льдовмещающими суглинками, имеют

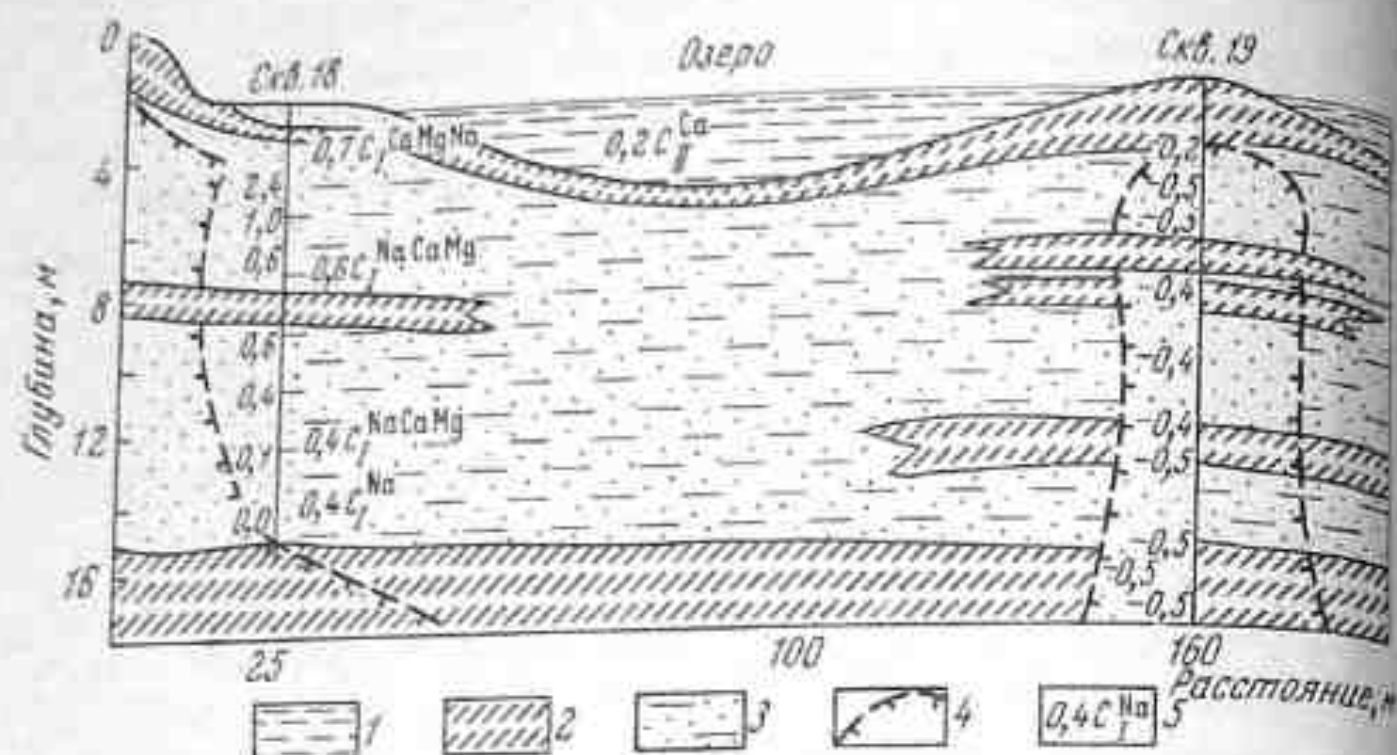


Рис. 18. Мерзлотно-геологический разрез несквозного талика под оз. Нтык-Хмель на второй надпойменной (левобережной) террасе р. Лены (август)

1 - вода; 2 - супеси; 3 - пески водоносные; 4 - граница многолетнемерзлых пород; 5 - формула химического состава воды, по О.А.Алекину (1946), в которой символом аниона (C) обозначается класс воды, символом катиона (Na) - группа, римской цифрой - тип воды по соотношению ионов, цифра перед индексом класса - величина минерализации воды в г/л

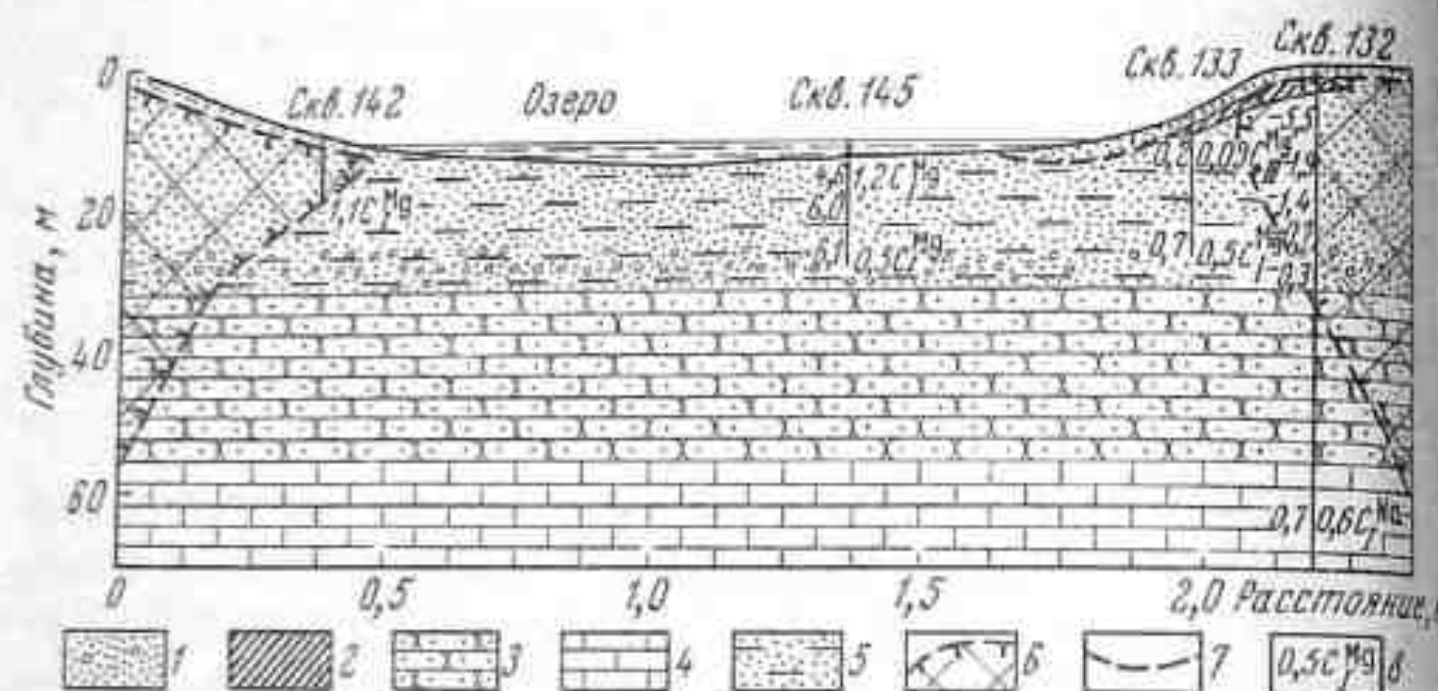


Рис. 19. Мерзлотно-геологический разрез сквозного талика под оз. Хатыльма в долинообразном понижении правобережной Тунгулинской террасы

1 - пески в основании разреза с галькой; 2 - суглинки; 3 - песчаники; 4 - известняки; 5 - водоносные пески; 6 - многолетнемерзлые породы; 7 - граница сезонного промерзания пород; 8 - формула химического состава воды, по О.А.Алекину (слева от знака скважины приводятся температуры пород в июне 1958 г.)

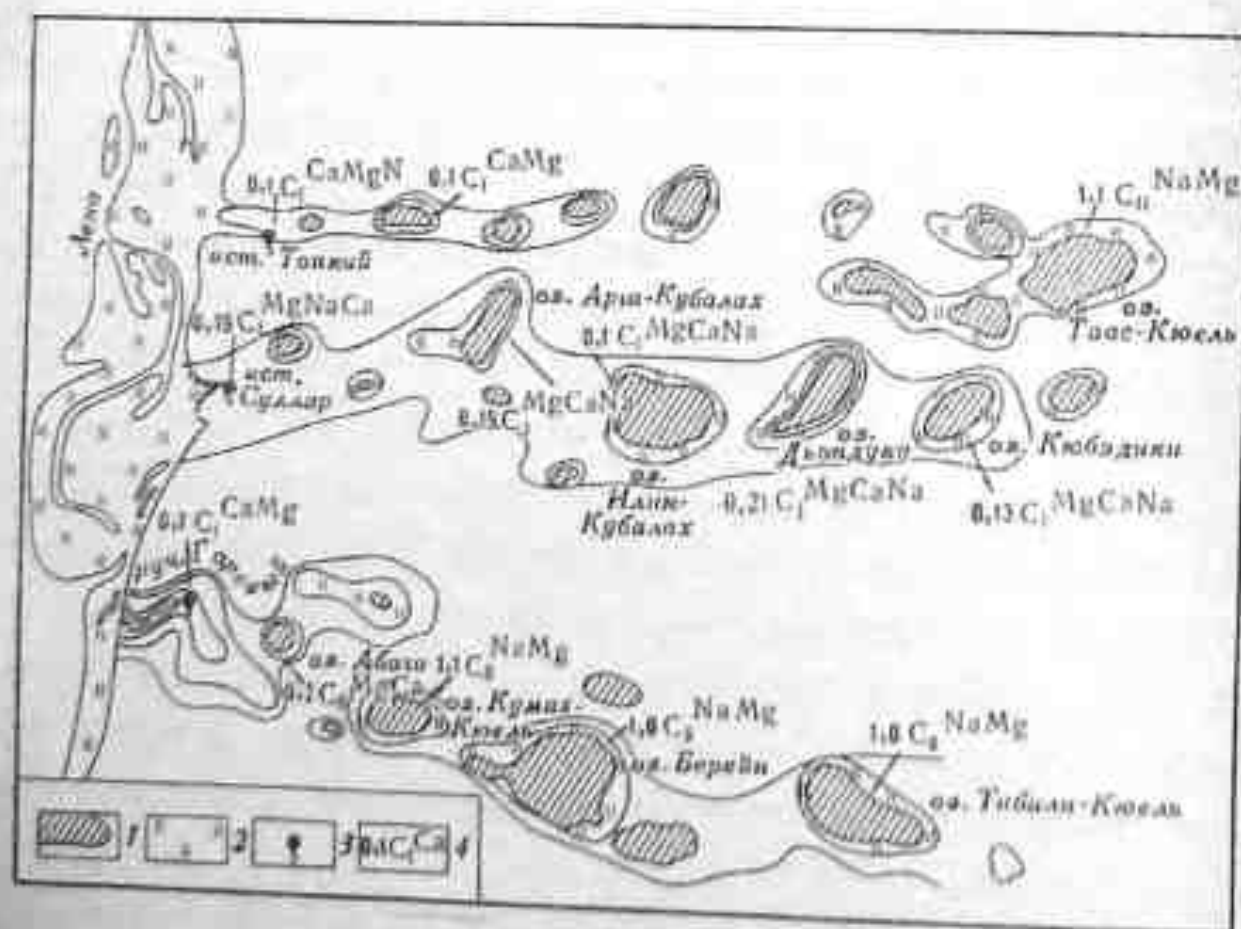


Рис. 20. Химический состав озер, находящихся в долинообразных понижениях Бестяхской террасы, против источников Суллар, Тонкий и Гаревый

1 - озера; 2 - луг на пойме р. Лены и в обсохших озерных котловинах; 3 - источники; 4 - формула химического состава воды, по О.А.Алекину (обозначения - см. рис. 18)

Т а б л и ц а 8
Данные по источникам в долинах р. Лены и ее притоков

Источ- ник	Местонахождение	Из каких пород выходит	Дата отбора пробы	Темпе- ратура воды, °C	Дебит, л/сек	Содержание ионов										Сумма ми- неральных веществ, г/л	Содержание NaHCO ₃ , %	
						мг/л				% мг-экв								
						Ca'	Mg'	Na+K'	НСО ₃ '	SO ₄ '	Cl'	Ca'	Mg'	Na+K'	НСО ₃ '			SO ₄ '
Суллар	В распадке, вре- занном в Бестях- скую террасу р. Лены, в 40 км ниже г.Якутска	Песок	17/У 1963	-	45	24,6	40,2	219,5	Нет	3,2	37,5	9,1	58,4	97,2	Нет	2,7	0,17	50,4
			4/УП 1963	-	-	23,4	26,4	231,0	"	6,4	29,5	41,6	28,9	95,5	"	4,5	0,19	24,4
			15/УШ 1963	0,2	-	27,1	32,9	243,0	"	6,7	32,3	33,2	34,5	95,5	"	4,5	0,20	30,0
Брюя	В распадке, вре- занном в долину р.Таммы, в 12 км от ее устья	То же	20/УШ 1965	-	42	12,6	66,2	224,0	"	22,8	14,6	18,7	66,7	85,5	"	14,8	0,22	52,0
			29/XI 1965	-	-	22,0	53,4	211,1	"	26,9	26,1	18,9	55,0	82,0	"	18,0	0,22	37,0
			30/Ш 1965	-	-	17,1	103,2	824,1	"	28,0	13,9	12,6	73,5	87,1	"	12,9	0,32	60,0
Улахан- Тарын, группа А	В долине р.Ула- хан-Тарын, в 59 км выше г.Якут- ска	"	10/УП 1958	0,2	-	21,5	13,4	164,7	"	4,4	38,0	41,4	20,6	95,6	"	4,4	0,14	16,2
			14/X 1964	0,0	30	20,0	5,8	163,0	"	2,1	36,3	54,5	9,2	97,9	"	2,1	0,13	7,1
			30/XI 1965	-	-	25,8	5,2	160,5	"	3,2	47,3	44,4	8,3	96,5	"	3,5	0,14	5,0
Улахан- Тарын, группа Б	То же	"	29/УШ 1965	-	26*	21,6	7,1	157,0	"	1,7	41,0	47,0	11,8	98,1	"	1,9	0,12	10,0
			28/П 1965	-	-	22,1	10,8	189,5	"	2,0	34,8	50,4	14,8	98,2	"	1,8	0,15	13,0
			29/УШ 1965	0,6	70*	20,8	9,1	175,1	"	2,3	35,4	45,4	19,2	97,8	"	2,2	0,14	17,0
			30/IX 1965	-	-	27,9	8,0	162,4	"	2,3	51,0	36,3	12,7	97,7	"	2,3	0,13	10,4
Улахан- Тарын, группа В	"	"	30/Ш 1966	-	-	28,6	7,6	197,3	"	1,8	43,5	46,3	10,2	98,5	"	1,5	0,15	8,7
			30/IX 1965	0,6	14*	21,9	5,3	132,8	"	1,6	49,3	40,3	10,4	98,0	"	2,0	0,10	8,4
			28/П 1965	-	-	28,2	10,5	177,7	"	2,0	47,5	37,2	15,3	98,0	"	2,0	0,14	13,0
Булуо	В распадке, вре- занном в Бестях- скую террасу р. Лены, в 80 км выше г.Якутска	Контакт песка и галечни- ка с из- вестня- ком	11/УП 1949	0,1	60	32,2	13,8	124,6	20,6	4,7	62,0	15,0	23,0	78,4	16,6	5,0	0,12	1,4
			1/УП 1939	-	-	34,6	4,8	162,0	7,0	1,4	60,9	31,7	7,4	93,3	5,3	1,4	0,14	0,7
			25/IX 1964	-	80*	30,1	11,0	170,0	Нет	2,9	52,4	30,9	16,7	97,0	Нет	3,0	0,14	13,7
			29/XI 1964	-	-	35,5	19,4	168,0	"	6,4	60,6	11,2	28,2	93,8	"	6,2	0,15	22,0
			7/I 1965	-	-	34,0	24,8	211,6	5,9	3,0	46,1	24,3	29,6	94,3	3,3	2,4	0,18	24,0
Менден- ский	В распадке, вре- занном в долину р.Менды, в 20 км от ее устья	Песок	10/IV 1964	-	-	32,9	16,6	168,7	8,0	8,2	51,9	25,3	22,9	87,4	5,3	7,3	0,16	10,2
			16/УП 1965	0,1	60	33,8	2,6	225,1	Нет	1,6	45,2	51,6	3,2	98,6	Нет	1,4	0,17	1,8
Мустах- Тарын	В распадке, вре- занном в Бестях- скую террасу р. Лены, в 53 км выше г.Якутска	То же	24/У 1959	0,1	50	15,1	8,2	116,8	"	2,0	38,2	41,8	20,0	97,0	"	3,0	0,09	17,0
			8/УП 1958	0,1	40	17,4	5,3	108,6	"	3,2	46,4	41,4	12,2	95,0	"	4,8	0,09	7,4
			10/УШ 1963	-	40	16,9	5,3	122,0	"	5,0	39,4	49,7	10,9	93,3	"	6,7	0,10	4,2
			29/XI 1965	-	-	20,0	2,4	116,6	"	3,2	49,9	44,9	5,2	95,3	"	4,7	0,10	0,5

* Замеры проведены В.М. Пигузовой.

† Данный источник состоит из нескольких изолированных выходов воды, обозначенных как группы А, Б, В и Д

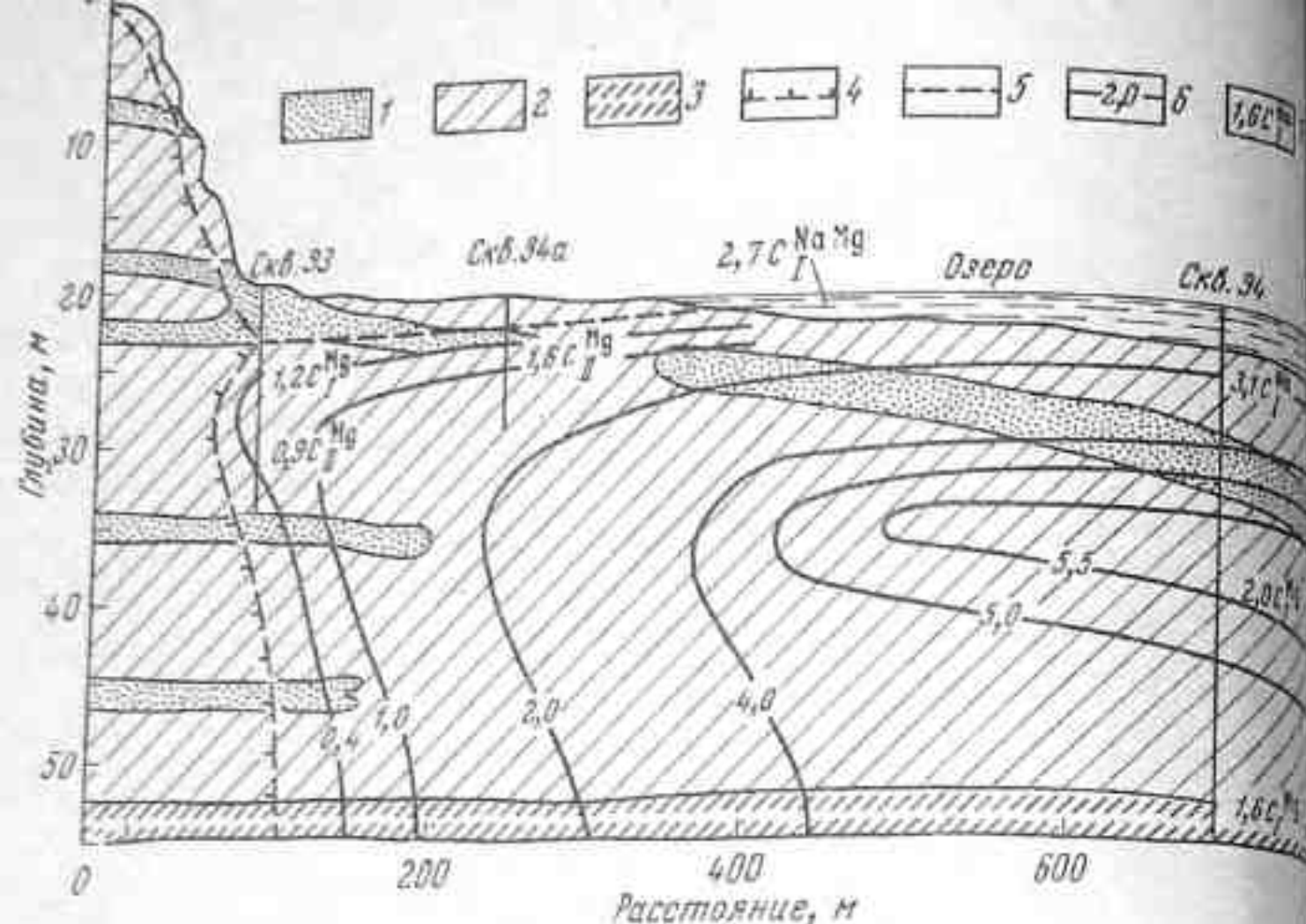


Рис. 21. Мерзлотно-геологический разрез сквозного талика под монарстовым озером Сегелей

1 - пески; 2 - суглинки; 3 - супеси; 4 - граница многолетнемерзлых пород; 5 - уровень подземных вод в талике; 6 - изолинии температур (май 1963 г.); 7 - формула химического состава воды, О.А.Алекину (обозначения - см. рис. 18)

большую мощность (до 30-80 м), а подстилающие их неогеновые пески и супеси или кембрийские известняки хорошо водопроницаемы, служат талики всех трех групп.

На Бестяхской террасе и на сложенных песками склонах Тунгусской, Абазахской террас и аллювиальной равнины подозерные талики относятся ко 2-й группе. Под крупными озерами (в поперечнике несколько сотен метров), находящимися в древних эрозионных понижениях, мощность таликов более 50 м, иногда они сквозные. Температура пород в них 4-6°, минерализация воды изменяется от 0,2 до 5,5 г/л, удельные дебиты скважин колеблются от 0,05 до 0,2 л/сек.

Было обследовано несколько таликов, отличающихся по мощности, особенностям водообмена и находящихся на разной стадии промерзания.

В южной правобережной части района, где мощность многолетнемерзлых пород составляет 40-60 м, обследован сквозной талик под проточным озером Хаха. В этом талике водоносные четвертичные

ки мощностью 45-50 м подстилаются трещиноватыми среднекембрийскими известняками. Слабая минерализация воды (0,25-0,3 г/л) и ее гидрокарбонатный кальциево-магниевый состав свидетельствуют об интенсивном водообмене в талике, а выравненная минерализация и температура (5-6°) по всему разрезу талика, по-видимому, являются следствием фильтрации воды в подстилающие трещиноватые известняки.

В этой же части района детально опробован сквозной талик под оз. Хатылыма, которое находится в долинообразном понижении. Слагающие талик водоносные аллювиальные пески мощностью 32-42 м отделены от кембрийских водоносных известняков юрскими песчаниками мощностью до 28 м (рис. 19). Площадь талика 3,5 км². Дебит скважин, пробуренных в озере (скв. 145) и на обсохшем участке дна (скв. 133), равен 0,2 л/сек при понижении уровня на 0,7-1 м. Более интенсивное промерзание талика происходит в восточной давно обсохшей части котловины (скв. 161), менее - со стороны южного и западного бортов. У северного борта, где в талик поступают с водосборной площади надмерзлотные воды, отмечается лишь сезонное промерзание пород до глубины 2,4-3,8 м (скв. 133). Здесь минерализация воды по вертикальному разрезу талика повышается от 0,1 до 0,5 г/л, а температура - от 0,2 до 0,7° (июль, 1958).

В подозерной части талика в толще аллювиальных отложений минерализация воды в конце зимы по глубине, наоборот, понижается от 1,2 до 0,5 г/л, а температура повышается до 6°. Состав воды в толще аллювиальных отложений гидрокарбонатный натриево-магниевый, а в верхних слоях кембрийских известняков (с глубины 61 м) - гидрокарбонатный натриевый при минерализации 0,6 г/л. Дебит скважины - 0,5 л/сек при понижении уровня на 1,7 м.

Талики под близкорасположенными озерами Хатылыма и Тымпы-Бере соединяются надмерзлотным таликом, сохранившимся на глубине 3-7,5 м в песчаных отложениях обсохшей межозерной перемычки.

В центральной и северной частях района на правобережье, где мощность многолетнемерзлых пород 200-300 м, подозерные талики в отложениях песчаной террасы чаще несквозные - 2-й группы. Большую мощность (вплоть до сквозных) имеют талики лишь под наиболее крупными озерами, находящимися в древних эрозионных понижениях. При близком расположении озер их талики могут соединяться между собой межмерзлотными таликами в толще аллювиальных и коренных пород, по которым движется вода (межмерзлотные потоки).

Благоприятные условия для распространения такого рода межозерных межмерзлотных таликов имеются в эрозионных понижениях Бестяхской террасы, вытянутых по уклону поверхности к современным доли-

нам рек Лены, Мены и Таммы. В распадках, врезающихся в Бестяхскую террасу, подземные воды, движущиеся по межмерзлотным таликам, выходят на поверхность, образуя временные или постоянные источники (Ефимов, 1952а; Анисимова, 1962). Один из таких источников, известный в литературе под названием "Суллар", находится у основания циркообразной вершины распадка, врезающегося в Бестяхскую террасу в 40 км ниже г. Якутска. Дебит источника летом примерно 1 л/сек, температура воды $0,4^{\circ}$ (август, 1963). В первую половину зимы водоем источника образуется наледь, мощность которой в хвосте достигает 1,5–2 м.

Химический состав и минерализация воды источника и озер, находящихся в долинообразном понижении на высокой террасе, весьма сходны между собой (рис. 20). Благодаря интенсивному водообмену и оттоку воды по межмерзлотным таликам накопления солей в озерах и в подозерных таликах не происходит. Минерализация воды в них превышает 0,2 г/л при гидрокарбонатном натриево-магниевом составе. Небольшие изменения минерализации воды Сулларского источника имеют сезонный характер (табл. 8), в апреле-мае минерализация воды меньше, чем в конце лета, что, возможно, связано с подтоком талых и надмерзлотных вод, а также с длительностью добегания от подозерных таликов до источника.

Со временем в распадках и цирках, образовавшихся в результате деятельности источников, постепенно происходит выполаживание залесение бортов, накопление мелких фракций пород на дне и усиление захоронения наледного льда песком. Все это благоприятствует более глубокому промерзанию пород, что сначала затрудняет, а затем и полностью прекращает выход вод на поверхность. Этому способствуют также и уменьшение дебита источника в связи с изменением режима питающих его вод при промерзании межмерзлотных таликов на обсохших межозерных перемычках.

Прекращение разгрузки вод на поверхность приводит к накоплению солей в подозерных таликах и в озерах, поступающих в них с поверхностными и надмерзлотными водами. Вероятно, по этой причине в подозерных таликах и озерах, находящихся в долинообразном понижении несколько южнее Сулларского источника, произошло повышение минерализации воды до 1 г/л (см. рис. 20, озера Кумах-Кюель, Рейи, Тибили-Кюель). По-видимому, по той же причине происходит повышение минерализации воды в таликах и озерах Тыметиме, Кус-Белейкен, находящихся в эрозионном понижении Бестяхской террасы центральной части района.

В таликах под такими озерами в эрозионно-термокарстовых понижениях, так же как и в таликах под замкнутыми озерами вне их, на

меньшая минерализация воды (0,1–0,4 г/л) отмечается на прибортовых участках, за счет подтока надмерзлотных вод, более высокая (0,8–1,5 г/л) – под обсохшими участками дна котловин. В ионном составе воды преобладают гидрокарбонаты, натрий и магний.

В промерзающих таликах под солончатыми озерами Бестяхской террасы минерализация воды достигает 2–10 г/л (в таликах под озерами Чай-Кюель, Таас-Кюель и др.).

В несквозных промерзающих таликах сравнительно небольшой мощности (до 20 м) минерализация воды на границе с образующимися мерзлыми породами выше, чем во внутренних частях талика. Так, в талике мощностью 20 м, пройденном на обсохшей части котловины оз. Уу-Дегедики (см. рис. 17), минерализация воды у верхнего и нижнего контактов с мерзлыми породами 1,2–1,7 г/л, а во внутренних слоях – около 1 г/л. Состав воды гидрокарбонатный натриево-магниевый.

Под термокарстовыми озерами и аласами на Тунгусинской и Аба-лахской террасах большинство таликов I-й и 3-й групп несквозные, мощностью от 3–5 до нескольких десятков метров. Сквозные талики возможны лишь под наиболее крупными озерами.

В таликах I-й группы, сложенных плоховодопроницаемыми суглинками, минерализация воды изменяется от 0,2–0,8 г/л под молодыми озерами до 2 г/л и более – в промерзающих таликах под аласами. В связи со слабой водоотдачей слагающих талики пород и повышенным содержанием в воде органических веществ они не представляют практического интереса.

В таликах 3-й группы, сложенных переслаивающимися плохо- и хорошо водопроницаемыми породами, водоносность, минерализация и химический состав воды значительно изменяются по вертикальному разрезу.

Для большинства таких таликов типичен разрез, в котором верхние слои представлены суглинками (с маломощными прослоями супесей и песков), нижние – песками (с прослоями супесей и суглинков). В таликах, где четвертичные отложения подстилаются неогеновыми, юрскими и кембрийскими, разрез более сложный. В нем суглинки и пески сменяются глинами, аргиллитами и песчаниками. Верхние суглинки, обладающие слабой водоотдачей, содержат более минерализованную воду, чем подстилающие их пески. Коэффициент фильтрации песков колеблется от 5 до 25 м/сутки, дебиты скважин в них изменяются от 0,2 до 1–2 л/сек. Производительность галечниковых горизонтов, по данным Якутской центральной геологосъемочной экспедиции, достигает 8–10 м³/час при понижении уровня на 2–3 м.

Приведем несколько примеров.

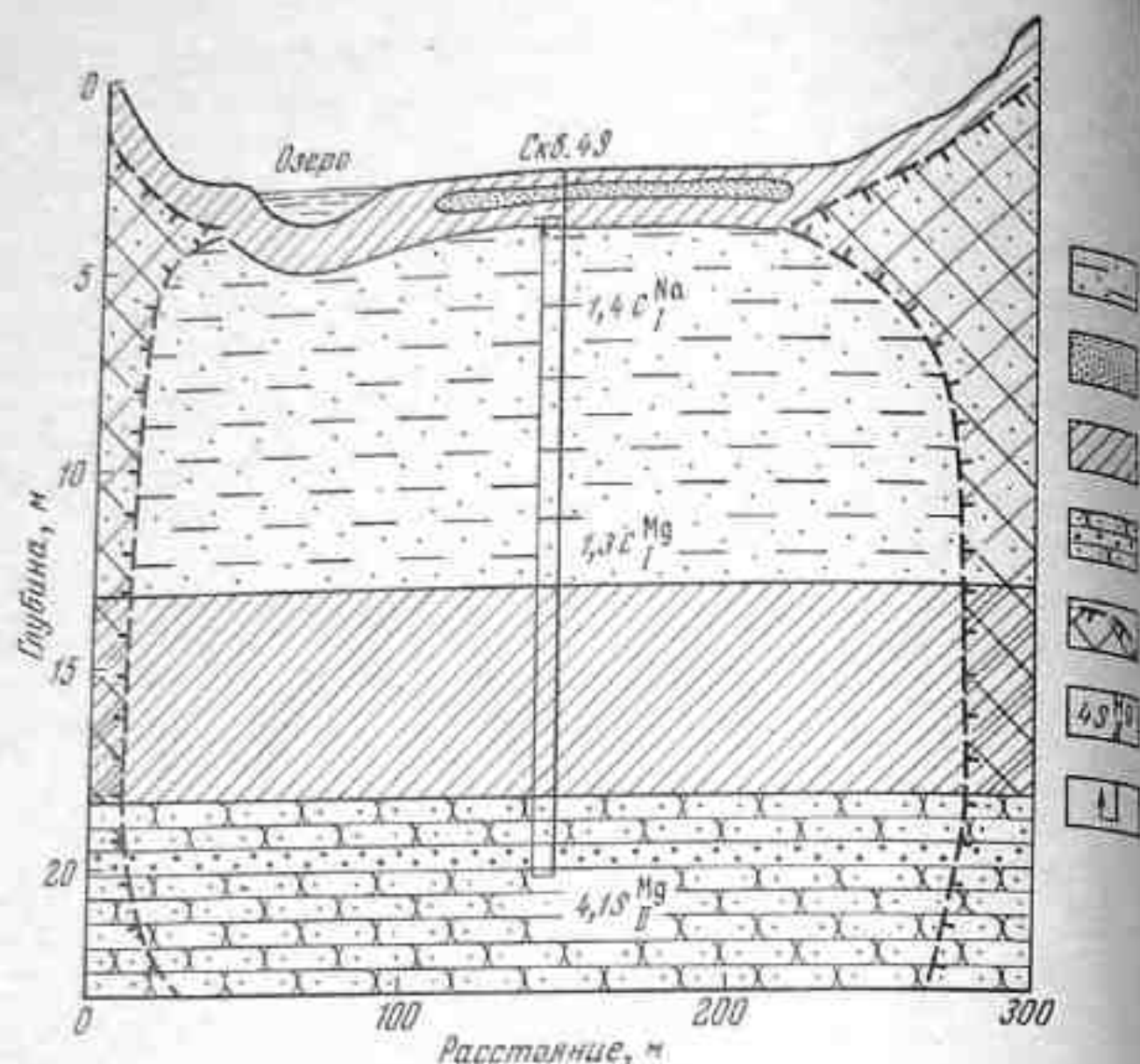


Рис. 22. мерзлотно-геологический разрез несквозного подошвенного талика под термокарстовым озером на левобережной Террасной территории (в аласе Лагерном)

1 - песок мелкозернистый водоносный; 2 - песок мелкозернистый заиленный; 3 - суглинок; 4 - песчаник с прослоями крупнозернистого песка; 5 - многолетнемерзлые породы; 6 - формула химического состава воды, по О.А.Алекину (обозначения - см. рис. 18), установившийся уровень воды

1. На левобережье р. Лены, в талике под аласом Туойдах, опробованном в 1965 г. Якутской центральной геологосъемочной экспедицией геологического управления, минерализация воды в толще суглинков на глубине 7-11,5 м составляет 1,6-1,9 г/л, а в песках на глубине 65-66 м - 1,5 г/л. Состав воды гидрокарбонатный натрий.

2. На правобережье р. Лены, в талике под оз. Сегелей (рис. 22) минерализация воды в 30-метровой толще суглинков изменяется (сверху вниз) от 3 до 1,5 г/л, а в подстилающих песках понижается до 1 г/л. Состав воды гидрокарбонатный магниевый. Высокая температура в талике на глубине 20-30 м ($4-5^{\circ}$), значительная мощность водоносных рыхлых отложений (около 80 м) и большая площадь озера (3 x 3 км) при глубине 1-3 м дают основание предположить, что

лик под ним выходит за пределы толщи четвертичных отложений и, возможно, является сквозным¹.

3. В южной правобережной части описываемого района, в сквозном талике под аласом Туустах (площадь 1,6 км²), вода в прослойках песка в толще суглинков на глубине 5 м имеет минерализацию около 3 г/л, а в песках, составляющих основную часть талика, в интервале 11-58 м, не превышает 2-2,5 г/л. Состав воды гидрокарбонатно-хлоридный магниевый-натриевый.

Коренные породы, представленные рыхлыми или трещиноватыми разностями, подстилающие в таликах большой мощности четвертичные отложения, обычно водоносны. Состав воды в них в значительной степени зависит от условий водообмена с вышележащей аллювиальной толщей талика.

При отсутствии водоупорных слоев, отделяющих коренные породы от аллювиальных, состав и минерализация воды в разрезе таликов изменяются мало, а при их наличии колебания иногда весьма существенны. В одних случаях в верхних горизонтах, сложенных рыхлыми отложениями, минерализация воды выше, чем в нижних, отделенных водоупорными слоями, в других - наоборот.

В талике, опробованном А.М.Федоровым под аласом Хомустах на левобережье (скв. 17), минерализация воды в верхней, интенсивно промерзающей, сложенной рыхлыми отложениями толще талика равна 2-5 г/л при сульфатном магниевом составе, тогда как в песчаниках, залегающих под десятиметровым слоем плотного аргиллита, она не превышает 0,5 г/л при сульфатно-гидрокарбонатном натриевом составе.

В талике под аласом Лагерный (скв. 49), находящемся в южной части района на левобережье, в верхних слоях, сложенных рыхлыми отложениями, минерализация воды 1,3-1,4 г/л, состав гидрокарбонатный натриевый, а на глубине 17-19 м в юрских песчаниках, отделенных от четвертичных песков пятиметровым слоем плотного суглинка, она повышается до 4,1 г/л, состав сульфатный магниевый (рис. 22).

Талики речных долин. Происхождение таликов речных долин связано с отепляющим воздействием на породы речных и подземных вод.

По положению в речной долине эти талики подразделяются на подрусловые, развитые в современных русловых отложениях и коренных породах непосредственно под рекой, и террасовые, приуроченные к русловым отложениям речных террас².

¹ Это предположение подтвердилось в 1967 г. геофизическими исследованиями Якутской центральной геологосъемочной экспедиции.

² Рассмотренные выше талики под пойменными и старичными озерами по генезису являются разновидностью террасовых таликов, но формирование химического состава воды в них связано с жизнью озера.

Как уже указывалось, по отношению к толще многолетнемерзлых пород талики речных долин могут быть надмерзлотными (несквозными), подрусловыми таликами, межмерзлотными (сквозными) или подмерзлотными (реликтовые сквозные талики на террасах).

Мощность таликов в речных долинах зависит от размеров водотока, фильтрационных свойств и мощности русловых отложений, а также уклона речной долины.

П о д р у с л о в ы е т а л и к и. Мощный подрусловый талик (вплоть до сквозного) развит под р.Леной. По данным буровых работ экспедиции коммунального водостроя 1932-1934 гг., мощность его под горной протокой в районе г.Якутска около 30 м (Светозаров, 1934). Аналогичные данные были получены Якутской центральной геологической съемочной экспедицией Геологического Управления в 1960-1961 гг. и под другой протокой р.Лены. Подрусловый талик приурочен к песчано-галечниковому аллювию и к подстилающим его юрским породам, которые имеют разные гидрогеологические характеристики (Ефимов, 1964). Наибольшую производительность имеет верхний водоносный горизонт в песках мощностью 6-10 м; удельный дебит скважины 3-4 м³/час. Химический состав воды в русловых отложениях на глубине 5 м гидрокарбонатно-хлоридный кальциево-натриевый (февраль, 1965), минерализация около 0,5 г/л. Второй водоносный горизонт приурочен к юрским песчаникам, имеющим весьма слабую водопроницаемость.

Сквозной подрусловый талик под р.Леной был опробован в 1954 г. экспедицией Гидропроекта в районе пос.Покровск. Скважинами глубиной 70-100 м, пробуренными на островах и в русле реки, пройдены песчано-галечниковые отложения мощностью до 27 м и подстилающие кембрийские известняки (см. рис. 8).

Химический состав воды по разрезу подруслового талика не однороден. В зимний период, когда минерализация речной воды, питающей подрусловый талик, увеличивается до 0,2-0,5 г/л, а в ионном составе преобладают хлориды и натрий, вода в верхних слоях русловых отложений сходна по составу и минерализации с речной. С глубиной по разрезу аллювиальных отложений содержание хлора в составе русловых вод уменьшается, а гидрокарбонатов - увеличивается. В результате состав воды становится сначала гидрокарбонатным натриевым, а глубже, на границе с известняками - гидрокарбонатным кальциевым. Зимой минерализация воды по разрезу аллювиальных отложений талика изменяется от 0,5 до 0,3 г/л, а летом, при понижении минерализации речной воды до 0,06-0,1 г/л, в верхних слоях талика она также понижается. В подстилающих известняках, в интервале 33-70 м, минерализация воды изменяется от 0,4 до 0,6 г/л, состав от гидрокарбонатного кальциево-магниевого до гидрокарбонатного натриевого.

Под малыми пересыхающими и полностью промерзающими реками, русловые отложения которых сложены слабофильтрующими суглинистыми и глинистыми отложениями, подрусловые талики обычно отсутствуют. Талики мощностью 1-2 м возможны лишь под наиболее глубокими не промерзающими до дна плесами. Мощность подрусловых таликов под такими участками увеличивается, если русловые отложения сложены супесями и песками. Под р.Суолой¹, в районе пос.Бетейдех, мощность талика 10 м, под р.Кенкеме² - 5-6 м.

В нижнем течении малых правобережных притоков р.Лены, протекающих по Бестяхской террасе, мощность подрусловых таликов в хорошофильтрующих песчано-галечниковых отложениях увеличивается до 30-60 м. Несмотря на сравнительно небольшую ширину русла (10-50 м) и непостоянный поверхностный сток, подрусловые талики здесь не промерзают, что объясняется движением в них воды и сравнительно высокой температурой окружающих многолетнемерзлых пород.

Так же как и в подрусловом талике р.Лены, минерализация воды в талике под р.Таммой в апреле понижается по разрезу: от 0,24 г/л на глубине 3 м до 0,20 г/л - на глубине 13 м. Химический состав воды гидрокарбонатный магниевый-кальциевый (скв. 126).

Т а л и к и, р а с п р о с т р а н е н н ы е в о т л о ж е н и я х р е ч н ы х т е р р а с. Талики в русловых отложениях речных террас на описываемой территории встречаются редко. По отношению к толще многолетнемерзлых пород такие талики являются надмерзлотными и межмерзлотными (редко подмерзлотными). Благоприятные условия для их существования имеются на некоторых участках поймы нижнего течения малых правобережных рек - Таммы и Менды. Здесь в хорошофильтрующих песчано-галечниковых отложениях и подстилающих их коренных породах мощность водоносных таликов достигает 30-60 м. Наиболее производительным является горизонт, сложенный аллювиальными галечниковыми песками. При опробовании его на пойме р.Менды на глубине 28-30 м дебит скважины составил 1,8 л/сек. Минерализация воды 0,2 г/л, состав гидрокарбонатный магниевый-кальциевый (август, 1965).

Между таликами, распространенными в русловых отложениях поймы, и подрусловыми таликами обычно существует непосредственная связь.

В южной части района в хорошофильтрующих песчано-галечниковых русловых отложениях Бестяхской и Тынголунской террас, в пределах водосборных бассейнов малых притоков р.Лены, распространены ограниченные по площади межмерзлотные и подмерзлотные талики, по которым потоки подземных вод движутся в направлении речных долин

¹ По данным А.И.Ефимова, 1954 г.

² По данным А.И.Демина, 1966 г.

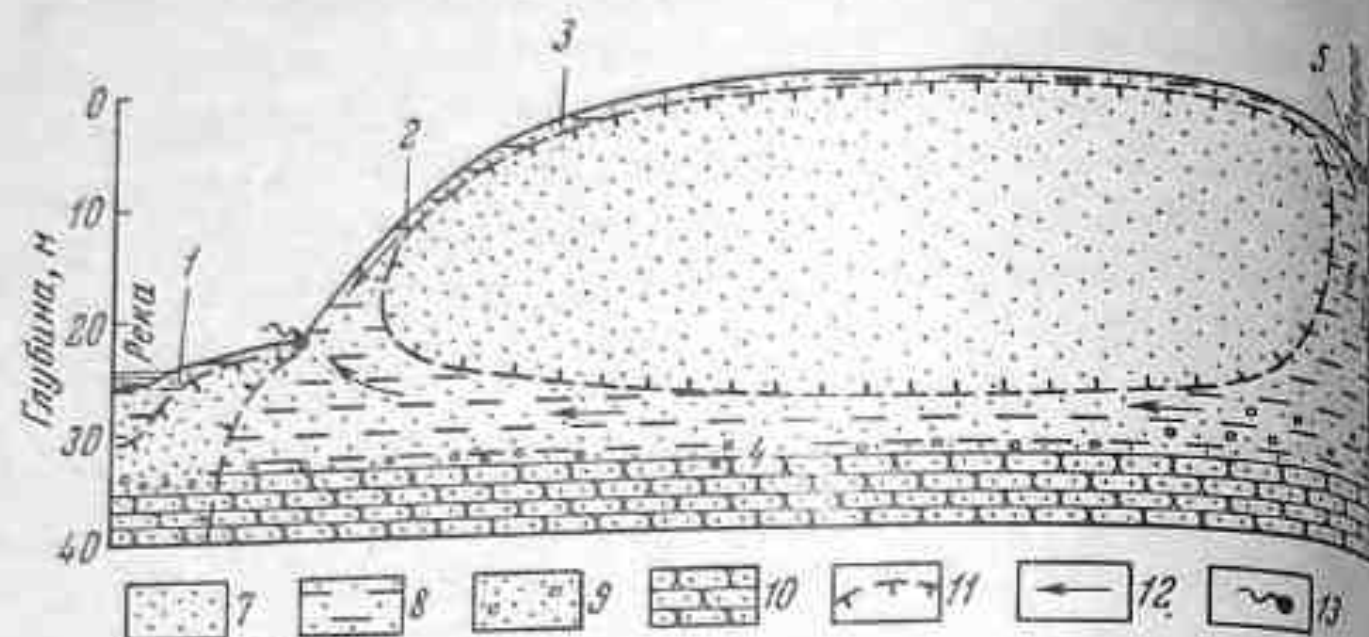


Рис. 23. Схема питания и разгрузки подземных вод межмерзлотных таликов в долине р. Улахан-Тарын

1 - подрусовый талик; 2 - присклоновый талик; 3 - сезонно-тающий слой; 4 - межмерзлотный талик; 5 - подошвенный талик; 6 - водносорный песок; 7 - песок с галькой; 8 - песчаник; 9 - граница многолетнемерзлых пород; 10 - направление движения воды; 11 - источник

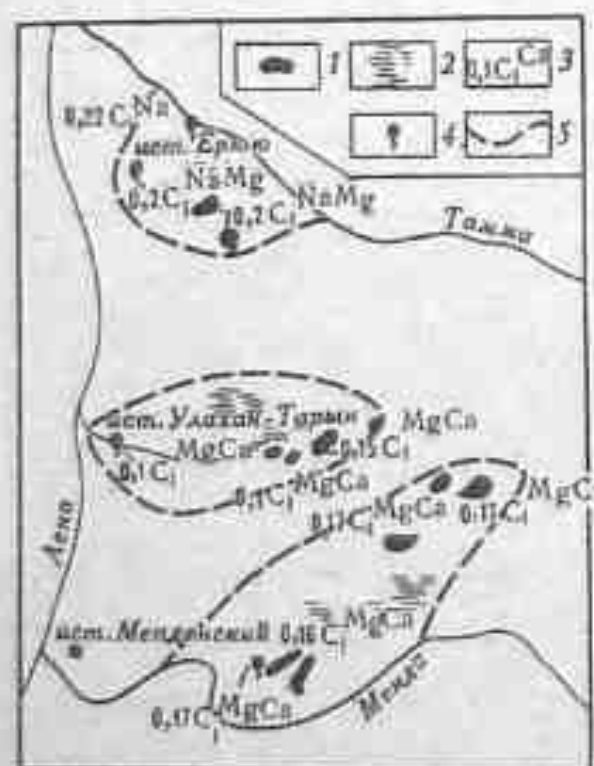


Рис. 24. Химический состав вод озер и постоянно действующих источников на территории межречья Таммы-Менды

1 - озера; 2 - заболоченность территории; 3 - формула химического состава воды в летний период, по О.А.Алекину (обозначения - см. рис. 18); 4 - источники; 5 - предполагаемая площадь распространения межмерзлотных таликов

и разгружаются в присклоновые и подрусовые талики или выходят на поверхность (рис. 23).

Благоприятными условиями существования межмерзлотных таликов являются сравнительно небольшая мощность (20-50 м) и высокая температура ($-0,2$; $-0,5^{\circ}$) многолетнемерзлых пород, покрывающих талики, хорошая водопроницаемость слагающих их песчано-галечных отложений (коэффициент фильтрации 10-60 м/сутки), значительные уклоны потока, обеспечивающие быстрое движение вод, и питание их сравнительно "теплыми" ($5-6^{\circ}\text{C}$) водами подошвенных таликов.

Водами такого рода межмерзлотных таликов образованы источники, находящиеся у основания Бестяхской террасы в долине р. Лены и некоторых ее притоков. Основные сведения по источникам приведены в табл. 8.

В питании межмерзлотных таликов Бестяхской террасы большое значение имеют атмосферные осадки и надмерзлотные воды сезонно-проталиковых слоев, проникающие в них через подошвенные и присклоновые талики. Для межмерзлотного талика, развитого в прибортовой части нижнего течения р. Улахан-Тарын, это подтверждается исследованиями и ориентировочными подсчетами А.И.Ефимова (1952а), а также данными систематических гидрологических и метеорологических наблюдений на наледи р. Улахан-Тарын, проведенных в 1964-1966 гг. М.К.Гавриловой, В.М.Пигузовой, и результатами мерзлотно-гидрогеохимических исследований автора (Анисимова, 1962).

Проведенные гидрохимические исследования позволили установить сходство в солевом составе и минерализации воды подошвенных таликов и озер, находящихся на водосборной площади рек Улахан-Тарын, Таммы и Менды, и источников в долинах этих рек (рис. 24).

Источники Ерюю и Суллар имеют гидрокарбонатный натриевый состав, Улахан-Тарын и Менденский - гидрокарбонатный кальциево-магниевый. Минерализация их воды на протяжении года изменяется незначительно (см. табл. 8). Небольшие изменения, происходящие при этом в содержании гидрокарбонатов натрия в воде, вероятно, связаны с частичным промерзанием таликов и сезонными изменениями в составе питающих вод.

В отдельных случаях в межмерзлотные талики речных террас возможна разгрузка сравнительно близко залегающих от поверхности подмерзлотных вод коренных пород (например, в пределах водосборного бассейна р. Менды, где под толщей четвертичных отложений залегают кембрийские известняки).

В питании межмерзлотного талика, развитого в отложениях Бестяхской террасы в районе нижнего течения р. Будус, по-видимому, преобладают подземные воды кембрийских отложений. Воды ист. Будус,

выходящие на поверхность на контакте аллювиальных отложений кембрийских пород, имеют гидрокарбонатный кальциевый состав, отличный для вод среднего кембрия зоны свободного водообмена. Однако, в отличие от последних, они менее минерализованы. В составе воды источника на протяжении года происходят довольно существенные изменения, связанные в основном с колебаниями концентрации гидрокарбонатов натрия: летом их содержание в воде источника не превышает 2-6% от общего солевого состава, а зимой повышается до 24%. Аналогичные изменения в содержании гидрокарбоната натрия свойственны для таликов, питающихся в основном надмерзлотными водами сезоннопротаивающих слоев (см. табл. 8, ист. Мустак-рын). Поэтому можно предположить, что в питании межмерзлотного талика, развитого в отложениях Бестяхской террасы на участке течения р. Булус, наряду с водами кембрийских отложений принимают участие и надмерзлотные воды.

Данных о площадном распространении и мощности межмерзлотных таликов в отложениях Бестяхской террасы нет. Основываясь на материалах бурения отдельных скважин, можно предположить, что наибольшая мощность таликов (вплоть до сквозных) отмечается вблизи рек, а по мере удаления от них — уменьшается.

Подземные воды нижнемеловых отложений

В северной части района нижнемеловые отложения водоносны в подмерзлотных горизонтах. На левом берегу р. Лены (в районе Намцы) они были вскрыты разведочно-эксплуатационными скважинами Якутского геологического управления на глубине 415 м, на правом (в поселках Мурь и Дюся) — на глубине 330-450 м.

Химический состав первых — гидрокарбонатный натриевый при минерализации 0,19 г/л, вторых — хлоридный натриевый при минерализации 1,2 г/л.

Вследствие глубокого залегания и низких пьезометрических уровней (50-150 м) взаимосвязь этих вод с водами подозерных таликов маловероятна.

Подземные воды нижнеюрских отложений

Водоносность нижнеюрских песчано-сланцевых отложений, установленная В.М. Максимовым и Н.И. Толстихиным (1940), в последующий год была подтверждена многочисленными буровыми работами Якутского геологического управления на правом и левом берегах р. Лены.

Описание водоносных горизонтов подмерзлотных вод, опробованных этими скважинами, приводится в довольно обширной литературе (Максимов, Толстихин, 1940; Ефимов, 1945; Мельников, Ефимов, 1953;

Басков, 1959, 1961; Басков, Зайцев, 1963; Шрабштейн, 1959; Косолапов, 1963; О.Н. Толстихин и др., 1967).

Водоносные горизонты вскрыты в нижней пресноводной свите юры, представленной трещиноватыми песчаниками и песками с прослоями аргиллитов и алевролитов. По условиям залегания эти воды относятся к трещинно-пластовым и обладают большим напором.

На левом берегу р. Лены верхняя поверхность водоносных горизонтов была вскрыта на глубинах от 260 до 380 м. Мощность горизонтов колеблется от 140 до 280 м. Несмотря на большой напор воды (до 240 м), пьезометрический уровень ее не достигает поверхности земли. В районе оз. Белого, в окрестностях г. Якутска, он установился на глубине 8 м от поверхности, в г. Якутске — 80 м. Такое различие в положении уровня воды Е.А. Басков (1959) объясняет тем, что скважина у оз. Белого пройдена в боковой части древнего подруслового (реликтового) талика р. Лены.

Удельный дебит скважины в г. Якутске равен 0,2-0,3 л/сек (Мельников, Ефимов, 1953), а у оз. Белого — 0,42 л/сек.

Минерализация воды юрских отложений, вскрытых на разных участках левобережья, колеблется от 0,6 до 1,2 г/л, а состав изменяется от гидрокарбонатного натриевого до сульфатно-гидрокарбонатного натриевого (табл. 9).

Такие различия в химическом составе подземных вод юрских отложений, вероятно, объясняются связью их с более минерализованными водами среднего кембрия. По мнению А.И. Ефимова (1952а), гидравлическая связь между водами, залегающими в юрских отложениях, и водами, циркулирующими в нижележащих кембрийских карбонатных породах, возможна, если не повсеместно, то в зонах наиболее сильно развитой трещиноватости. Неодинаковая трещиноватость и значительные изменения пористости пород по простиранию, а также колебания в мощности многолетнемерзлых пород определяют различную степень взаимодействия этих вод, что отражается на их химическом составе.

Несмотря на то что юрские воды в бактериологическом отношении стерильны, для питьевого снабжения они не пригодны в связи с довольно высоким содержанием в них фтора (до 4 мг/л) и значительной натриевой щелочностью (35-65% от общего содержания солей).

В южной правобережной части района водоносные горизонты в отложениях нижней юры залегают ближе к поверхности, чем в левобережной. В пос. Ломтута они вскрыты на глубине 100-110 м, а в пос. Майя — 156 и 240 м. Пьезометрические уровни устанавливаются на глубине 10-15 м от поверхности. Удельный дебит скважин 4-6 м³/час, минерализация воды 0,7-1,0 г/л, состав гидрокарбонатный натриевый. Натриевая щелочность вод на правобережье несколько ниже (12-35%), чем на левобережье.

Таблица 9

Химический состав подземных вод юрских и кембрийских отложений

Местонахождение скважин	Глубина опробования горизонта, м	Сумма минеральных веществ, г/л	Содержание ионов, мг/л				Гипотетический солевой состав (мг. экв)										
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼⁼	Cl ⁻	CaCO ₃	MgCO ₃	Na ₂ CO ₃	Ca(HCO ₃) ₂	Mg(HCO ₃) ₂	NaHCO ₃	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	NaCl
Воды юрских отложений на левобережье																	
Якутск, Институт мерзлотоведения	320	0,83	0,27	0,10	14,77	5,75	0,16	5,89	0,5	0,2	5,9	Нет	Нет	11,5	Нет	0,8	11,8
Якутск, лесная школа	291-353	0,68	Нет	0,19	12,35	9,00	Нет	3,03	Нет	0,4	7,0	"	"	18,0	"	Нет	6,0
Якутск, дом связи	320	0,89	0,64	0,64	14,25	10,73	2,01	2,79	"	Нет	Нет	1,3	1,3	18,9	"	4,0	5,6
Якутск, водопровод	450	1,04	0,68	1,52	15,27	8,55	5,46	3,45	"	"	"	1,4	3,0	12,7	"	11,0	7,0
Пос. Хатаасси	264-297	0,98	0,58	0,87	15,40	8,87	3,79	4,70	"	"	"	1,2	1,7	1,4	"	7,6	9,4
Пос. Белое озеро	118,0	0,65	2,67	3,43	6,42	8,68	0,81	3,02	"	"	"	5,4	6,8	5,2	"	1,6	6,0
Воды юрских отложений на правобережье																	
Пос. Ломтута	100-110	0,82	4,53	7,83	4,49	14,50	Нет	2,34	Нет	Нет	Нет	9,1	15,7	4,3	Нет	Нет	4,7
Пос. Майя	150-208	0,68	0,47	1,45	9,86	7,00	3,60	0,92	0,6	"	"	0,3	2,9	10,8	"	7,2	0,4
Воды кембрийских отложений на левобережье																	
О-в р. Лени в районе пос. Покровск	33,8	0,39	3,06	2,98	1,96	6,00	0,06	1,74	0,4	Нет	Нет	5,7	6,0	0,3	Нет	0,1	3,5
То же	70,2	0,57	2,64	1,87	6,50	7,44	0,05	3,22	Нет	"	"	5,2	3,8	6,4	"	0,1	6,4
Пос. Мохсогонлох	141	1,20	0,12	0,58	21,15	11,72	Нет	8,69	0,2	1,2	1,5	Нет	Нет	23,4	"	Нет	17,4
Якутск, Институт мерзлотоведения	457	1,83	4,13	6,37	19,58	7,49	15,32	7,26	Нет	Нет	Нет	8,2	6,6	Нет	6,0	24,6	14,4
Воды кембрийских отложений на правобережье																	
Пос. Сатагай	102-228	0,54	0,58	1,73	8,31	10,0	0,07	0,25	0,6	Нет	Нет	0,6	3,4	16,0	Нет	0,2	0,4
Пос. Хатылыма	61-76	0,62	2,12	2,97	7,12	9,98	Нет	2,23	Нет	"	"	4,0	5,8	10,0	"	Нет	4,4
Пос. Ломтута	255-260	0,77	0,24	0,24	13,95	11,9	"	0,29	0,4	0,4	"	Нет	Нет	23,8	"	"	0,6
Пос. Абалах	260-280	1,03	0,38	0,77	18,10	14,09	0,37	2,12	0,8	1,6	28,1	"	"	3,0	"	0,8	4,2
Пос. Беке	372	1,79	5,94	8,19	15,57	11,50	15,19	3,41	Нет	Нет	Нет	11,8	16,2	Нет	5,2	25,0	6,8

Из изложенного следует, что взаимосвязь подмерзлотных вод с поверхностными возможна лишь в южной правобережной части района.

Выше уже указывалось, что юрские отложения, подстилающие аллювиальные пески в подозерных и подрусовых таликах большой мощности, могут быть водоносны. Производительность таких водоносных горизонтов неодинакова в связи с различиями в составе, плотности трещиноватости юрских отложений. Так, в талике под аласом Хомустах дебит эксплуатационной скважины в юрских песчаниках, по данным А.М.Федорова, составляет 4-5 м³/час, а под руслом р.Лены в районе г.Якутска плотные песчаники обладают весьма слабой водоносностью и практически бесперспективны (Ефимов, 1964).

В подозерных таликах химический состав и минерализация вод юрских отложений во многом определяются взаимодействием с водонасыщенным залегающим аллювием. При отсутствии разделяющих их водоупорных пород состав воды и минерализация по разрезу талика изменяется мало. Например, в талике под аласом Туустах (скв. 127) состав воды в верхних слоях юрских песчаников на глубине 57-67 м, так как и в толще аллювиальных отложений, хлоридно-гидрокарбонатно-магниево-натриевый при минерализации 2,3 г/л. При наличии в разрезе талика водоупорных пород, в зависимости от особенностей мерзлотного режима, химический состав воды может существенно изменяться.

Подземные воды отложений среднего кембрия

К толще пород среднего кембрия приурочены трещинно-пластовые воды, в основном подмерзлотные. Глубина их залегания колеблется от 30 до 350-400 м.

Естественные выходы подземных вод, циркулирующих в верхней трещиноватой и закарстованной толще известняков среднего кембрия, известны в южной части Лено-Амгинского междуречья.

Воды выходят либо на контакте известняков с аллювиальными отложениями (ист. Будус), либо из трещин в обнажающихся породах (источники в долине р.Амги). Гидрокарбонатный кальциевый состав и небольшая минерализация воды источников (0,2-0,3 г/л) свидетельствуют о сравнительно малом пути циркуляции вод. Площадь распространения кембрийских вод зоны свободного водообмена в южной правобережной части района совпадает с площадью их питания. Питание кембрийских вод здесь происходит за счет поверхностных вод местного стока через подозерные, подрусовые и присклоновые талики.

В одном из поглощающих подозерных таликов (под оз.Хаха) фильтрация воды из толщи аллювиальных отложений в подстилающие кембрийские известняки подтверждается однообразием температуры пород

(5-6°) и минерализации воды в нем по вертикальному разрезу.

На правобережье р.Лены с юга на север глубина залегания водоносных горизонтов увеличивается от 31 (в долине р.Менды) до 340 м (пос.Беке); на левобережье - от 141 (пос.Мохсогтоллох) до 550 м (г.Якутск). В районе пос.Покровск отложения среднего кембрия, слогающие русло р.Лены, водоносны начиная с верхних слоев (примерно с глубины 10-20 м).

Подмерзлотные воды среднего кембрия высоконапорные. На правобережье пьезометрические уровни воды в скважинах устанавливаются на глубине от 3,6 (пос.Хатылыма, скв. 132) до 10-19 м (пос.Чуя, Беке, скв. УП, X), а скважины в поселках Абалах, Табага, Сатагай (скв. XI, XII, XIII) фонтанируют. На левом берегу р.Лены пьезометрический уровень вод кембрийских отложений устанавливается на глубине 82-87 м от поверхности. Причины такого низкого положения пьезометрических уровней подмерзлотных вод окончательно еще не выяснены, существуют различные объяснения этого явления (Толстихин, Максимов, 1954; Басков, Зайцев, 1963; Косолапов, 1963).

Коэффициент фильтрации пород среднего кембрия весьма изменчив и достигает 5-13 м/сутки, что свидетельствует о значительной их трещиноватости. Производительность скважин, вскрывших водоносные горизонты, изменяется от 1-2 до 8-9 л/сек при понижении уровня на 2-10 м (О.Н.Толстихин и др., 1967).

По мере погружения кембрийских пород минерализация подземных вод увеличивается (см.табл. 9). Наименее минерализованы (0,4-0,6 г/л) воды, залегающие на глубине 30-100 м в южной правобережной части района (русло р.Лены, поселки Хатылыма, Сатагай). Севернее, при увеличении глубины залегания до 200-250 м, минерализация воды повышается до 1 г/л (пос.Туустах). Воды, залегающие глубже 300 м, имеют минерализацию более 1,5 г/л. На правом берегу такие воды вскрыты в пос.Беке (скв.УП). На левом берегу, в окрестностях г.Якутска, среднекембрийские отложения залегают на глубине 140-457 м. Минерализация воды в них 1,2-1,8 г/л.

С увеличением глубины залегания и повышением минерализации кембрийских вод изменяется и их солевой состав.

Для вод, циркулирующих в кембрийских отложениях, залегающих сравнительно близко от поверхности, характерен гидрокарбонатный магниево-кальциевый состав. С увеличением глубины залегания в воде увеличивается концентрация хлоридов, сульфатов и гидрокарбонатов.

В южной части района, где более благоприятны условия для взаимодействия подземных и поверхностных вод, происходит биохимическое

восстановление сульфатов в подземных водах, в результате которого выделяется сероводород и повышается содержание гидрокарбонатов натрия. При этом с повышением щелочности воды в ней понижается концентрация карбонатов и гидрокарбонатов кальция и магния. По мере увеличения глубины залегания кембрийских вод соответствующему росту общей минерализации повышается содержание гидрокарбонатов натрия и сероводорода, тогда как концентрация сульфатов в связи с частичной их десульфатизацией увеличивается медленно.

Изменения в составе кембрийских вод, вызванные процессами десульфатизации, можно проследить по материалам опробования скважины Покровского гидроствора. Под руслом р. Лены вода в верхних слоях кембрия на глубине 34 м имеет гидрокарбонатный кальциево-магниевый состав и минерализацию 0,89 г/л, а на глубине 70 м — гидрокарбонатный натриевый состав и минерализацию 0,57 г/л (см. табл. 9). При этом с повышением минерализации воды вниз по разрезу пород наиболее интенсивно в ней возрастает концентрация гидрокарбонатов и хлоридов натрия, а содержание сульфатов почти не изменяется.

В подмерзлотном горизонте, вскрытом на глубине 141 м в кембрийских отложениях на левобережной надпойменной террасе (в 100 м от уреза воды в реке), минерализация воды и содержание в ней хлоридов натрия выше (см. табл. 9, в пос. Н. Бестях), чем на глубине 70 м (в русле), примерно в 2,5 раза, а гидрокарбонатов натрия — в 5 раз. Высокая щелочность воды, содержание в ней сероводорода, отсутствие сульфатов и весьма низкая концентрация гидрокарбонатов кальция и магния свидетельствуют о метаморфизации воды вследствие десульфатизации.

Приведенные примеры позволяют предположить, что происхождение гидрокарбонатов натрия в подмерзлотных водах среднего кембрия связано с биохимическим восстановлением сульфатов. Органические вещества, необходимые для процесса десульфатизации, поставляются с питающими поверхностными водами.

Наиболее интенсивно эти процессы происходят в южной части района, где мощность многолетнемерзлых пород сравнительно невелика, широко распространены подрусловые и подозерные сквозные талики.

В северном направлении, по мере увеличения мощности многолетнемерзлых пород, в водах кембрийских отложений в условиях весьма затрудненного водообмена с повышением минерализации отмечается интенсивное увеличение концентрации сульфатов натрия, тогда как гидрокарбонаты натрия отсутствуют. Так, в кембрийских водах, вскрытых на глубине 60–230 м (поселки Хатылыма, Ломтуга, Сатага), сульфатов натрия нет, на глубине 250–350 м (пос. Абалах) их содержание составляет 0,2–0,8 мг·экв, а с 370 м — превышает 20 мг·экв (см. табл. 9).

Среди специфических компонентов солевого состава интерес представляет ион фтора. Содержание его в водах среднего кембрия изменяется от 1 до 5 мг/л. Более высоким содержанием фтора (4–5 мг/л) характеризуются щелочные воды, вскрытые в поселках Абалах, Табага, Мохсоглох, залегающие непосредственно под толщей многолетнемерзлых пород. Высокая концентрация фтора в кембрийских водах определяется содержанием в породах флюорита, растворимость которого в щелочных водах повышается (Анисимова, 1958).

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОТАИВАЮЩИХ ПОРОД И ВОД,
ПИТАЮЩИХ ТАЛИКИ

При формировании химического состава подземных вод таликов особое значение имеют воднорастворимые соли, содержащиеся в сезоннопротаивающих почво-грунтах, слагающих водосборную площадь и в многолетнемерзлых породах, протаивающих при образовании таликов, а также соли, приносимые поверхностными и подземными водами.

Воднорастворимые соли пород

Изучение химического состава воднорастворимых солей, содержащихся в многолетнемерзлых и талых породах, проводилось на образцах, отобранных в процессе бурения скважин и проходки шурфов на правобережных и левобережных террасах р. Лены. Всего проанализировано водных вытяжек из проб сезоннопротаивающих и многолетнемерзлых пород.

Количественное содержание и качественный состав воднорастворимых солей в сезоннопротаивающих и многолетнемерзлых аллювиальных отложениях неодинаковы как по вертикальному разрезу, так и по площади их распространения. Это связано с различиями в условиях накопления и со вторичными эпигенетическими изменениями, происходящими в солевом составе под влиянием почвообразования, дифференциации солей в зависимости от строения поверхности, взаимодействия с поверхностными и подземными водами, миграции при промерзании и протаивании пород и т.д.

В долинах рек вне указанных эпигенетических факторов находятся лишь самые молодые прирусловые участки поймы, не покрытые еще растительностью и сложенные сравнительно хорошо фильтрующими песками и супесями. Воднорастворимые соли этих отложений представлены почти полностью бикарбонатами щелочных земель, которые приносятся паводком рек не только в растворенном, но и во взвешенном состоянии на поверхности глинистых частиц (Страхов и др., 1954). В паводковой мути р. Лены содержание карбонатов щелочных земель составляет 0,3% (Еловская, Коноровский, Саввинов, 1966).

Интенсивное накопление и перераспределение солей в отложениях поймы происходит при появлении на ней растительности и образовании многолетнемерзлых пород. При этом сезоннопротаивающие слои пород обогащаются солями как за счет атмосферных осадков и поверхностных вод, так и за счет биогенной их аккумуляции.

В период половодья почво-грунты поймы, оттаивающие до 0,6–1,0 м, получают до 100 мл влаги, которая в условиях засушливого лета Центральной Якутии довольно быстро испаряется, оставляя содержащиеся в ней соли (Еловская, Коноровский, Саввинов, 1966). Наиболее интенсивное накопление солей наблюдается в замкнутых понижениях.

Специфический водно-солевой режим сезоннопротаивающих почво-грунтов в условиях распространения многолетнемерзлых пород приводит к формированию в почвах карбонатного и гипсового горизонтов (Зольников, 1954).

Накопление карбонатов происходит в корнеобитаемом горизонте на глубине 0,4–0,6 м, куда соли поступают из вышележащих пород с инфильтрующимися водами, а также подтягиваются с влагой из нижележащих слоев. Дефицит влажности, вызванный летом транспирационной деятельностью растений, осенью – оттоком влаги к фронту промерзания пород, а также малая подвижность карбонатов щелочных земель обеспечивают их накопление в корнеобитаемом слое.

Гипс, образующийся при взаимодействии сернокислого натрия верхних горизонтов почвы с карбонатом кальция, отлагается в породах выше карбонатного горизонта, а сода сорбируется почвенным поглощающим комплексом и обуславливает повышенное содержание обменного натрия в породах (Орловский, 1955; Еловская, 1964).

Наибольшей подвижностью в течение года по разрезу сезоннопротаивающих слоев обладают легкорастворимые хлориды и сульфаты натрия и магния. В засушливые периоды лета они вместе с влагой поднимаются в поверхностные слои, а в дождливые – с просачивающимися атмосферными осадками снова мигрируют вниз по почвенному профилю и частично вымываются в низины. С началом промерзания легкорастворимые соли с поровыми растворами передвигаются к фронту холода под влиянием термоградиентных сил. В апреле – мае легкорастворимые хлориды из оттаивающих поверхностных слоев почвы вымываются талыми и паводковыми водами. Поэтому большого накопления солей в сезоннопротаивающих слоях поймы не происходит.

В условиях надпойменных террас, когда принос солей с паводковыми водами прекращается, наряду с перемещением солей по вертикальному разрезу сезоннопротаивающих пород, продолжается перераспределение их по элементам рельефа с водами поверхностного и подземного стока.

При переносе солей водами имеет значение различная их миграционная способность (Полинов, 1948; Вернадский, 1954). Миграционная способность солей зависит от их растворимости, адсорбированности почво-грунтами, поглощения растительными и животными организмами и т.д.

Наибольшей миграционной способностью обладают хлориды, хорошо растворяются при любой температуре, не образуют труднорастворимых солей и не накапливаются биогенным путем. Поэтому они легко вымываются из пород, слагающих повышенные участки, переносимы в низкие места и скапливаются в бессточных котловинах.

Среди солей серной кислоты более подвижны сульфаты магния и натрия. При низких температурах растворимость первых значительно выше, чем вторых (табл. 10). Поэтому весной холодными талыми водами из верхних слоев почво-грунтов вымываются в основном сульфаты магния. Миграционная способность натриевой соли значительно ниже. Коллоидами почв сульфаты почти не задерживаются. В перенасыщенных почвах содержание сульфатов летом может несколько уменьшаться за счет их десульфатизации (Зольников, 1954; Еловская, Коноровский, Саввинов, 1966), тем не менее, как правило, в грунтовых горизонтах наблюдается биогенное их накопление.

Плохорастворимые карбонаты и гидрокарбонаты кальция и магния менее миграционноспособны, поэтому в большинстве случаев они не обладают в породах, слагающих повышенные участки. Лучшая растворимость гидрокарбонатов магния по сравнению с гидрокарбонатами кальция определяет большее выщелачивание их из пород. Подвижность более растворимых натриевых солей угольной кислоты лимитируется легкой сорбируемостью их почво-грунтами.

Т а б л и ц а 10

Растворимость солей при различной температуре, в граммах на 100 г воды (Справочник химика, 1952)

Соли	Температура, °C			
	0	1,8	10	20
Na_2SO_4	4,5	-	8,2	16,1
MgSO_4	-	26,7	23,6	-
CaSO_4	0,18	-	0,19	0,2
NaHCO_3	6,9	-	8,2	8,8

Итак, на повышенных участках в основном задерживаются трудно-растворимые гидрокарбонаты кальция и магния, сульфаты кальция, а легко-растворимые хлориды и частично сульфаты натрия и магния смываются в понижения.

В проточных низинах легко-растворимые соли не накапливаются. В замкнутых бессточных понижениях концентрированию солей благоприятствует усиленное испарение воды с открытой водной поверхности болот, озер и из сезоннопротаивающих слоев пород.

В накоплении и перераспределении солей в почво-грунтах имеет значение также и растительность (Полинов, 1948; Ковда, 1947; Орловский, 1955, и др.). Минеральные соли, извлекаемые корневой системой растений из более глубоких горизонтов почвы, после минерализации биомассы накапливаются в поверхностных слоях. Разные растения обладают избирательной поглощающей способностью веществ. Л.Г.Еловская (1955) для Якутии установила следующую зависимость солевого состава растений от процента зольности: при относительно низкой зольности (менее 8% от веса сухого вещества) в составе солей, переходящих в водную вытяжку, преобладают бикарбонаты щелочных земель (например, бескислица); при средней (8-15%) - хлориды и бикарбонаты натрия и магния (кормак, полынь); при повышенной (15-20%) - гидрокарбонаты и хлориды натрия и кальция (голец сибирский) и при высокой (20-40%) - хлориды и сульфаты натрия и магния (сведа).

На повышенных участках рельефа, как правило, произрастают мало-зольные травянистые растения с преобладающим содержанием гидрокарбонатов кальция и магния, в низинах - влаголюбивые солеустойчивые галофиты, при отмирании которых в верхних слоях почво-грунтов накапливаются хлориды и сульфаты натрия и магния, либо хлориды и гидрокарбонаты натрия.

Все рассмотренные процессы накопления и перераспределения солей, определяющие их состав и концентрацию в современных сезонно-протаивающих слоях пород, протекали и в периоды накопления аллювиальных отложений, промерзавших сингенетически. Поэтому в много-летнемерзлых породах, слагающих террасы р. Лены, содержатся минеральные соли, органические вещества и микрокомпоненты, типичные для современных почвенных горизонтов, перераспределенные в соответствии со строением и генезисом поверхности.

В современных сезоннопротаивающих слоях пород состав и концентрация солей изменяются в довольно широких пределах (табл. 11).

Наименьшая концентрация воднорастворимых солей (0,006-0,01%) отмечается в протаивающих песках Бестяхской террасы, в которых преобладают гидрокарбонаты кальция и магния. В нижних слоях из

Т а б л и ц а II

Химический состав воднорастворимых солей, содержащихся в сезоннопотаивающих суглинках (Зольников, 1954; Еловская и др., 1966)

Глубина отбора образца, см	Сумма солей, %	Содержание ионов, породы					мг-экв на 100
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na+K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼⁼	
Намский район, содовый солончак-солонец							
0-5	0,6	0,7	0,8	9,6	8,8	1,9	
5-15	0,5	0,9	0,7	6,6	5,9	1,3	
20-30	0,6	1,5	0,8	7,0	4,2	5,0	
50-60	0,2	0,6	1,5	1,8	1,8	1,9	
90-100	0,2	0,4	0,7	2,3	0,9	2,4	
140-150	0,2	1,9	1,0	0,8	1,7	1,8	
Там же, черноземно-луговая солончаковая почва							
0-10	0,3	3,6	1,3	2,0	5,0	1,2	
15-25	0,2	1,8	0,8	1,2	1,7	1,5	
40-50	0,3	1,9	1,1	1,2	1,4	2,3	
80-90	0,2	1,8	0,6	1,5	1,2	2,3	
140-150	0,2	1,8	0,8	1,0	0,9	2,2	
Горный район, солонцеватая черноземно-луговая почва							
0-5	0,1	0,8	0,7	0,6	1,0	0,8	
5-15	0,1	0,3	0,6	0,7	0,7	0,8	
20-28	0,1	0,8	0,4	0,2	0,8	0,4	
28-30	0,1	1,0	0,6	0,2	1,0	0,4	
30-40	0,2	0,8	0,9	2,4	2,7	0,7	
80-90	0,2	1,3	0,8	2,2	1,6	1,3	
150-160	0,3	2,5	0,4	2,3	3,3	1,0	
Орджоникидзевский район, черноземно-луговая п							
0-15	0,1	0,5	0,2	0,9	0,9	0,7	
16-25	0,2	1,0	0,4	1,7	2,2	0,7	
30-40	0,2	1,4	0,4	1,3	2,4	0,6	
Якутский район, солончак							
0-25	8,2	2,9	29,0	74,9	2,0	40,3	
30-40	2,6	2,5	5,6	23,5	1,2	13,2	

Окончание табл. II

Глубина отбора образца, см	Сумма солей, %	Содержание ионов, мг.экв на 100 г породы					
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na+K ⁺	HCO ₃ [']	SO ₄ ^{''}	Cl [']
Якутский район, незасоленная почва							
0-20	0,08	0,8	0,2	Нет	0,4	Следы	0,1
20-40	0,11	0,7	0,7	0,1	0,8	0,5	0,2
40-60	0,04	0,4	0,2	Нет	0,3	0,1	0,2

границе с многолетнемерзлыми породами содержатся также и гидрокарбонаты натрия. Абсолютное содержание хлоридов незначительно, но на пониженных участках относительная величина их возрастает. В сезоннопотаивающих суглинках и супесях высоких террас содержание воднорастворимых солей во многом зависит от строения поверхности. На хорошодренированных участках Абалахской террасы концентрация воднорастворимых солей изменяется от 0,06 до 0,3%, а Тынгулянской - от 0,01 до 0,1%. Солевой состав представлен гидрокарбонатами кальция и магния, а в нижних надмерзлотных слоях иногда содержатся сульфаты магния и натрия. На плоских слабонаклоненных участках и в замкнутых понижениях сумма воднорастворимых солей колеблется от 0,1 до 0,8%. Наибольшая концентрация их здесь также отмечается на границе с мерзлыми породами, где преобладают сульфаты и хлориды натрия и магния (табл. 12, скв. 88, 90).

В аласных котловинах состав и концентрация воднорастворимых солей в переотложенных суглинках изменяются. В замкнутых аласных котловинах при повышенной минерализации воды в усыхающем озере и при близком залегании уровня подземных вод подозерных таликов на обсохших участках днища формируются засоленные почво-грунты. В озерных котловинах на правом берегу распространены содовые и хлоридные солончаки, а на левобережье - сульфатно-хлоридные.

Детальные исследования почво-грунтов в современной долине р. Лены, проведенные В.Г.Зольниковым, Л.Г.Еловской, А.К.Коноровским, свидетельствуют о широком распространении на низких террасах засоленных почв хлористых, сульфатных, сульфатно-хлористых, содовых солонцов и солончаков.

На низких правобережных террасах преобладает хлористо-содовое засоление, на левобережных - хлористо-сульфатное (Зольников, 1954).

Причем засоленные почво-грунты распространены как в заболоченных низинах, так и на сухих, иногда залесенных участках, где

Таблица 12

Химический состав водных вытяжек из четвертичных отложений

Глубина отбора образца, м	Сумма солей, %	Содержание ионов, мг. экв на 100 г породы						Порода
		Ca'	Mg'	Na+K'	HCO ₃ '	SO ₄ ''	Cl'	
Первая надпойменная терраса р. Лены (скв. 156)								
1,0	0,01	0,08	0,06	0,04	0,15	Нет	0,03	Песок
2,0	0,01	0,05	0,05	0,03	0,10	"	0,03	"
5,0	0,01	0,09	0,10	0,13	0,24	0,02	0,06	"
8,0	0,01	0,07	0,08	0,15	0,25	Следы	0,05	Супесь
13,0	0,01	0,04	0,02	0,05	0,06	0,02	0,04	Песок
15,0	0,05	0,50	0,19	0,10	0,28	0,39	0,13	"
17,0	0,04	0,58	0,06	0,13	0,34	0,35	0,07	Галечник
20,0	0,09	0,84	0,27	0,37	0,55	0,83	0,10	"
21,0	0,10	1,08	0,19	0,31	0,30	1,15	0,13	"
24,0	0,12	1,14	0,46	0,38	0,44	1,42	0,12	Песчаный
Вторая надпойменная терраса р. Лены (скв. 20)								
0,5	0,60	0,66	1,58	7,59	0,71	4,37	4,56	Суглинок
1,0	0,41	0,30	0,71	5,59	0,76	2,64	3,20	"
1,5	0,08	0,15	0,18	0,95	0,45	0,40	0,43	"
2,0	0,02	0,18	0,10	0,14	0,24	0,07	0,11	Песок
4,0	0,01	0,10	0,03	0,09	0,13	0,05	0,04	"
8,0	0,01	0,06	0,02	0,08	0,09	0,02	0,05	"
11,0	0,01	0,06	0,02	0,05	0,08	0,01	0,05	"
15,0	0,01	0,12	0,04	0,09	0,19	0,01	0,05	"
19,0	0,01	0,08	0,03	0,06	0,09	0,01	0,06	"
21,0	0,01	0,07	0,03	0,04	0,09	Нет	0,05	"
Четвертая надпойменная терраса р. Лены (скв. 100)								
1,0	0,01	0,07	0,03	0,05	0,06	Нет	0,10	Песок
3,0	0,01	0,07	0,05	0,09	0,12	"	0,08	"
5,0	0,02	0,09	0,02	0,18	0,20	"	0,10	"
10,0	0,01	0,06	0,03	0,12	0,14	"	0,07	"
14,0	0,03	0,16	0,07	0,33	0,16	"	0,41	"
16,0	0,02	0,10	0,06	0,26	0,12	"	0,31	"
18,0	0,03	0,03	0,02	0,44	0,19	"	0,31	Супесь
22,0	0,02	0,14	0,08	0,09	0,21	"	0,10	Песок
25,0	0,04	0,28	0,28	0,28	0,72	"	0,12	Супесь
27,0	0,03	0,15	0,10	0,26	0,37	"	0,14	Песок

Глубина отбора образца, м	Сумма солей, %	Содержание ионов, мг. экв на 100 г породы						Порода
		Ca'	Mg'	Na+K	HCO ₃ '	SO ₄ ''	Cl'	

Пятая надпойменная (левобережная) терраса р. Лены (скв. 62)

1	0,10	0,50	0,74	0,71	1,38	0,44	0,14	Суглинок
2,5	0,04	0,31	0,52	0,04	0,44	0,27	0,15	Песок
5,0	0,05	0,38	0,34	0,24	0,84	Нет	0,12	"
12,5	0,07	0,78	0,66	0,06	1,17	"	0,33	Суглинок
15,0	0,06	0,48	0,54	Нет	0,4	"	0,36	Супесь
17,6	0,10	0,54	0,60	"	1,17	"	0,28	"

Пятая надпойменная (правобережная) терраса р. Лены (скв. 88)

1,0	0,06	0,28	0,34	0,51	0,89	Нет	0,19	Суглинок
1,5	0,05	0,53	0,29	0,20	0,93	"	0,10	Супесь
2,5	0,22	0,90	2,67	0,16	0,77	2,72	0,24	Суглинок
3,0	0,14	0,69	1,36	0,36	0,65	1,58	0,18	Супесь
3,5	0,06	0,35	0,59	0,34	0,44	0,50	0,11	Песок
4,9	0,07	0,49	0,76	0,23	1,04	Нет	0,36	Суглинок
12,5	0,13	0,81	1,21	0,46	0,98	0,79	0,71	"
16,0	0,16	1,10	1,36	0,48	0,71	1,74	0,36	Супесь
17,0	0,08	0,42	0,76	0,47	0,65	0,51	0,36	Песок
20,0	0,06	0,43	0,49	0,34	0,97	Нет	0,30	Суглинок
25,0	0,08	0,52	0,87	0,35	1,16	"	0,59	"
28,0	0,13	0,27	1,70	0,52	1,15	0,89	0,44	"
31,0	0,05	0,36	0,59	0,10	0,89	Нет	0,17	Супесь
36,5	0,07	0,35	0,63	0,50	1,27	"	0,21	Суглинок
39,0	0,03	0,32	0,32	0,05	0,53	"	0,16	Песок
42,0	0,05	0,31	0,39	0,32	0,80	"	0,22	Супесь
45,5	0,04	0,32	0,22	0,21	0,55	"	0,19	Песок
51,0	0,06	0,32	0,45	0,82	1,04	"	0,19	Супесь
56,5	0,02	0,10	0,11	0,12	0,24	"	0,10	Песок
60,0	0,01	0,10	0,05	0,11	-0,18	"	0,08	"

Там же, скв. 90

0,5	0,26	0,66	0,42	3,46	0,83	0,40	3,32	Суглинок
1,5	0,39	0,57	1,19	5,17	1,66	0,47	4,80	"
2,5	0,10	0,38	0,15	1,11	0,65	Нет	0,99	Песок
4,5	0,27	1,41	0,56	3,02	2,07	0,30	2,62	Суглинок
6,5	0,08	0,32	0,24	0,96	0,86	Нет	0,65	Супесь
8,5	0,33	0,47	1,52	4,08	1,13	"	4,95	Суглинок
9,5	0,11	0,51	0,34	1,24	0,83	"	1,25	Песок
11,5	0,37	0,56	0,87	5,20	1,27	0,22	5,14	Суглинок
12,5	0,53	1,67	2,19	5,17	1,07	3,13	4,83	"
15,5	0,27	0,78	0,81	3,37	1,48	0,08	3,40	"
18,5	0,14	0,77	0,55	0,93	1,13	Нет	1,13	Супесь
22,0	0,17	0,62	0,59	1,36	0,89	"	2,18	Суглинок

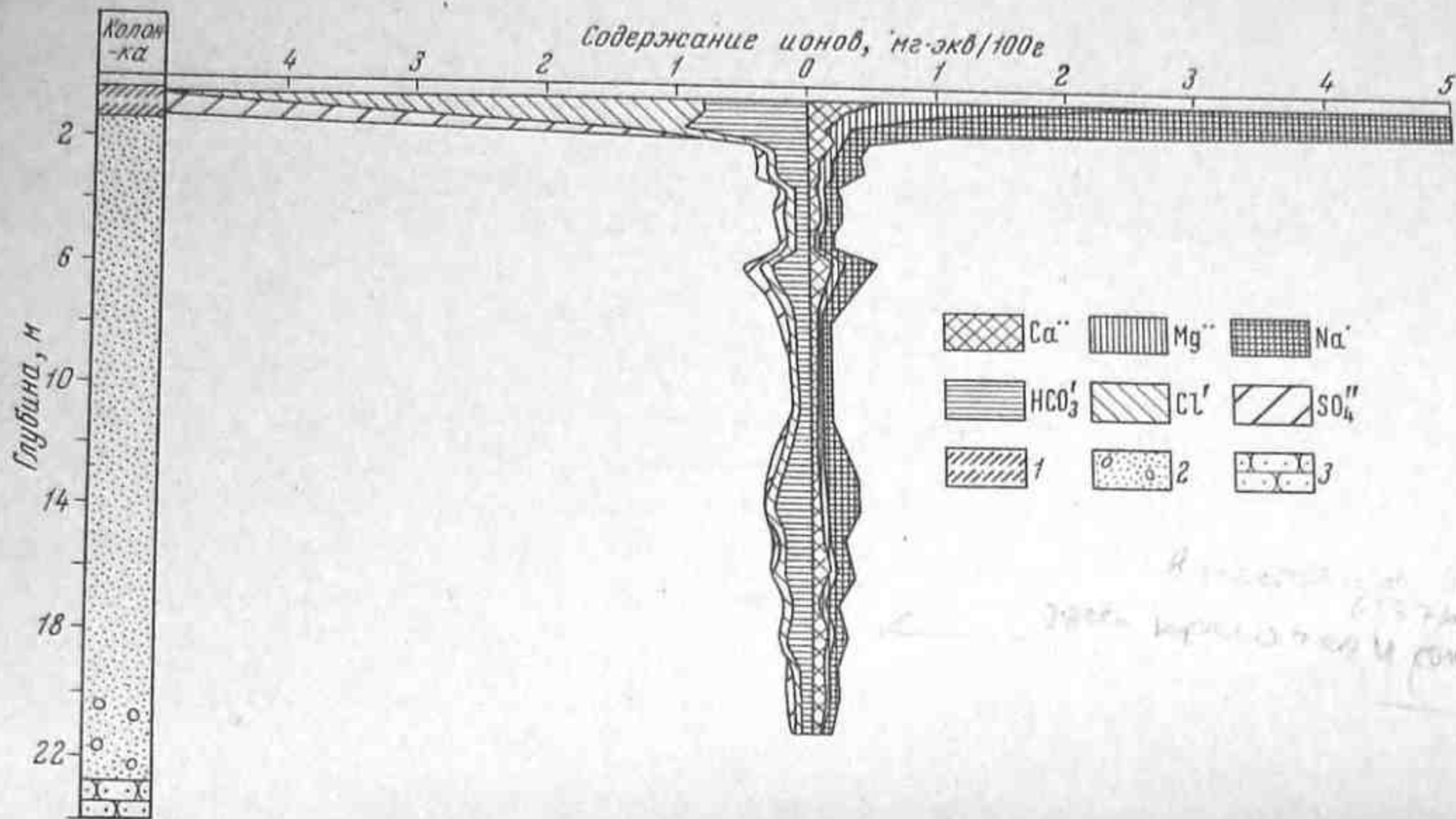


Рис. 25. Изменение химического состава многолетнемерзлых пород, составляющих вторую надпойменную террасу р. Лены в местности Сергелях (скв. 20)

I — супеси; 2 — пески с галечником в основании; 3 — песчаники

лес поселился на дерново-луговых солончаковатых почвах и солонцах. Содовое засоление грунтов на низких террасах встречается реже, чем в озерных и аласных котловинах средневысотных террас.

Концентрация солей в различных типах почво-грунтов низких террас изменяется в значительных пределах: от 0,06-0,2% в слабо- и незасоленных почвах до 5-8% - в сильнозасоленных.

В разрезе многолетнемерзлых четвертичных отложений сильнозасоленные породы типа современных солончаков встречены не были. Концентрация воднорастворимых солей в них не превышает 0,5%.

В характере изменения содержания воднорастворимых солей по разрезу многолетнемерзлых пород, промерзавших сингенетически и эпигенетически, имеются существенные различия. Сингенетически промерзали аллювиальные пойменные, эоловые и пролювиальные отложения, а эпигенетически - породы, слагающие подрусьные, подозерные, подаласные и присклоновые талики.

При эпигенетическом промерзании водонасыщенных пород большая часть растворенных солей мигрирует в непромерзшие слои. Степень вовлечения воднорастворимых солей в эпигенетически промерзающие породы зависит от их дисперсности, минерализации и состава насыщающей воды, от скорости промерзания и величины криогенного напора.

Если при эпигенетическом промерзании водоносных аллювиальных отложений имеется свободный отток воды, то концентрация воднорастворимых солей по разрезу образующихся многолетнемерзлых пород изменяется мало. При этом легкомигрирующие соли отжимаются в талик, а среди воднорастворимых солей в образующихся многолетнемерзлых породах преобладают гидрокарбонаты кальция и магния (рис. 25).

При промерзании разобщенных водоносных таликов отток воды затруднен, и концентрация воднорастворимых солей вниз по вертикальному разрезу образующихся многолетнемерзлых пород увеличивается. При этом может изменяться и солевой состав в соответствии с его изменением в воде промерзающего талика. Как видно из рис. 26, при промерзании замкнутого несквозного талика в русловых отложениях первой надпойменной террасы р. Лены минерализация воднорастворимых солей вниз по вертикальному разрезу образовавшихся многолетнемерзлых пород увеличивается в основном за счет повышения концентрации сульфатов. Состав воднорастворимых солей вниз по разрезу изменяется от гидрокарбонатного натриевого до гидрокарбонатно-сульфатного кальциевого.

Многолетнемерзлые породы, образовавшиеся при промерзании таликов под термокарстовыми котловинами, отличаются от многолетнемер-

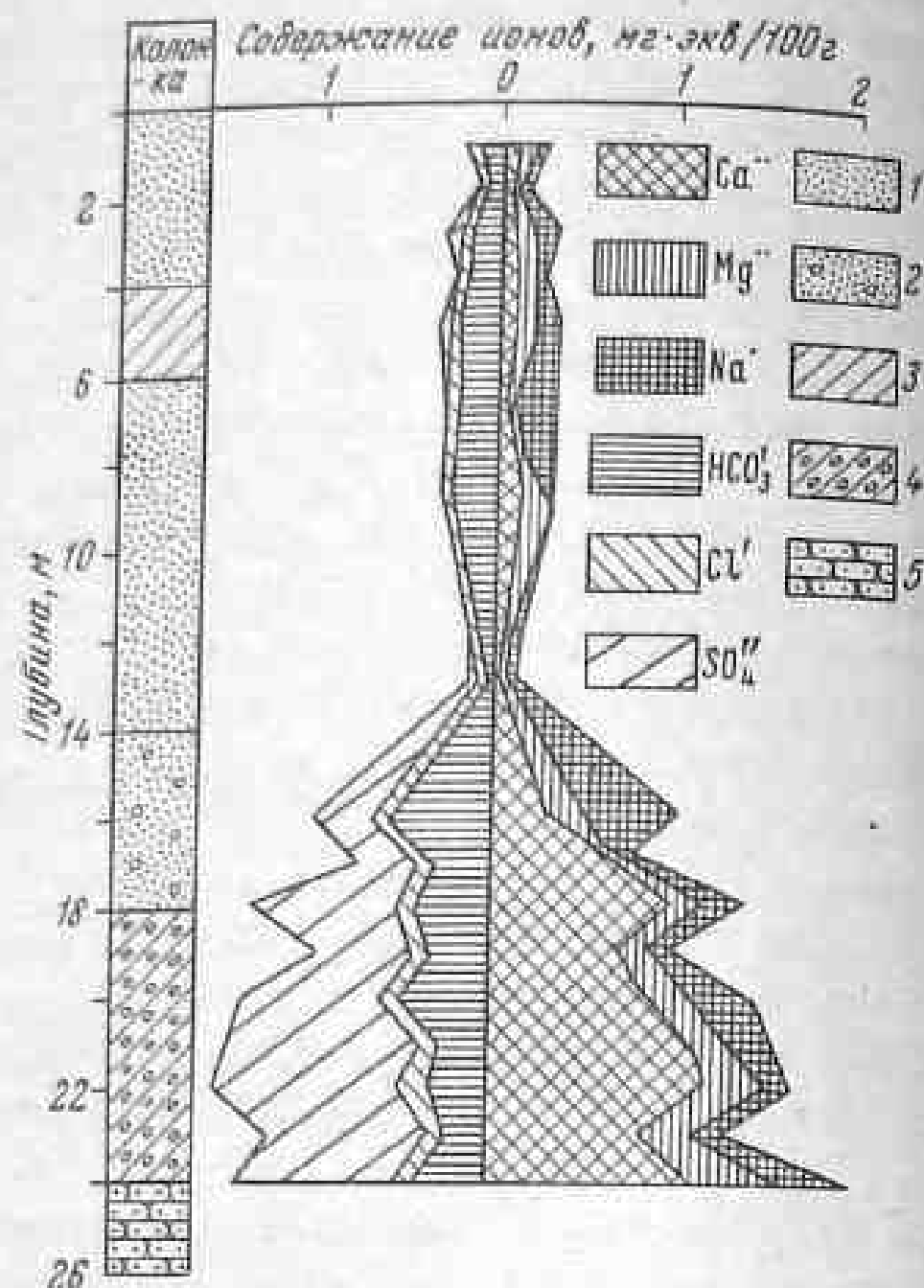


Рис. 26. Изменение химического состава многолетнемерзлых пород, составляющих правобережную первую надпойменную террасу р. Лены в южной части района (скв. 156)

1 - пески; 2 - пески с галькой; 3 - суглинки; 4 - аргиллиты с галькой; 5 - песчаники

ных пород межалась меньшей концентрацией солей, отсутствием или значительно меньшим содержанием сульфатов, но большим содержанием гидрокарбонатов натрия (рис. 27).

Такие изменения, несомненно, связаны со сложными биохимическими и физико-химическими процессами, происходившими в подозерных таликах при их образовании и промерзании.

Итак, толщи пород, промерзавшие эпигенетически при свободном оттоке воды, характеризуются невысоким (0,02-0,05%) и равномерным содержанием воднорастворимых солей, тогда как в породах, промерзавших при затрудненном ее оттоке, концентрация солей вниз по разрезу постепенно возрастает соответственно повышению минерализации насыщавшей их воды.

В толще сингенетически промерзавших пойменных отложений отмечается скачкообразное изменение минерализации, которое связано с различиями в условиях накопления этих отложений на разных участках террас, с перераспределением солей в соответствии со строением поверхности и в процессе промерзания сезоннопротаивающих слоев и маломощных таликов (рис. 28). Перераспределение солей в верхних слоях многолетнемерзлых пород первой надпойменной левобережной террасы, связанное с рельефом, иллюстрирует данные табл. 13.

В пойменных отложениях, составляющих верхнюю часть разреза террас, концентрация воднорастворимых солей изменяется от 0,03 до 0,5%.

В многолетнемерзлых песках пойменной фации Бестяхской и низких террас содержание воднорастворимых солей 0,03 - 0,1%. Несколько повышенные концентрации (0,2-0,7%) отмечаются в породах на границе с сезоннопротаивающими слоями и в депрессиях, где преобладают хлориды натрия и магния (Бестяхская терраса) или хлориды и сульфаты натрия и магния (низкие левобережные террасы).

В многолетнемерзлых пойменных суглинках, супесях и песках Тунгусской и Абалахской террас в южной лево- и правобережной части района сумма воднорастворимых солей изменяется от 0,04 до 0,08%, повышаясь на границе с сезоннопротаивающими слоями и в депрессиях до 0,12-0,15%. Сульфаты в них обычно содержатся в небольших количествах либо отсутствуют (см. табл. 12, скв. 62), чаще преобладают гидрокарбонаты натрия и магния.

В северо-восточной части района (в окрестностях озер Тунгюлю, Балыктах, Орто-Кюель) содержание воднорастворимых солей в пойменных льдовмещающих озерно-аллювиальных отложениях Тунгюлюнской террасы более высокое (рис. 29, см. табл. 12, скв. 88, 90).

В верхних озерно-аллювиальных суглинках, вмещающих трещинно-жильные льды, концентрация воднорастворимых солей колеблется от 0,1 до 0,5%. На повышенных участках она равна 0,1-0,16%, в солевом составе преобладают гидрокарбонаты и сульфаты кальция и магния (см. табл. 12, скв. 88), а на пониженных тыловых частях террасы (скв. 90) минерализация достигает 0,3-0,5%, среди солей преобладают хлориды натрия при повышенном содержании гидрокарбонатов и сульфатов натрия и магния. Такая же зависимость отмечается и в многолетнемерзлых сильнольдистых суглинках, залегающих в нижних слоях толщи озерно-аллювиальных отложений, в которых концентрация воднорастворимых солей изменяется от 0,08 до 0,3%.

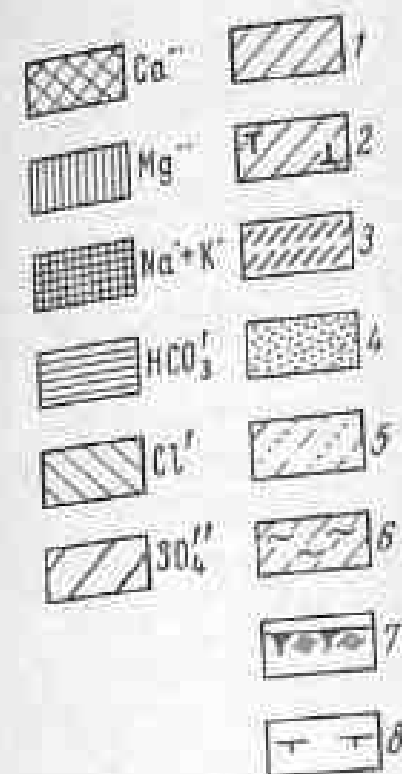
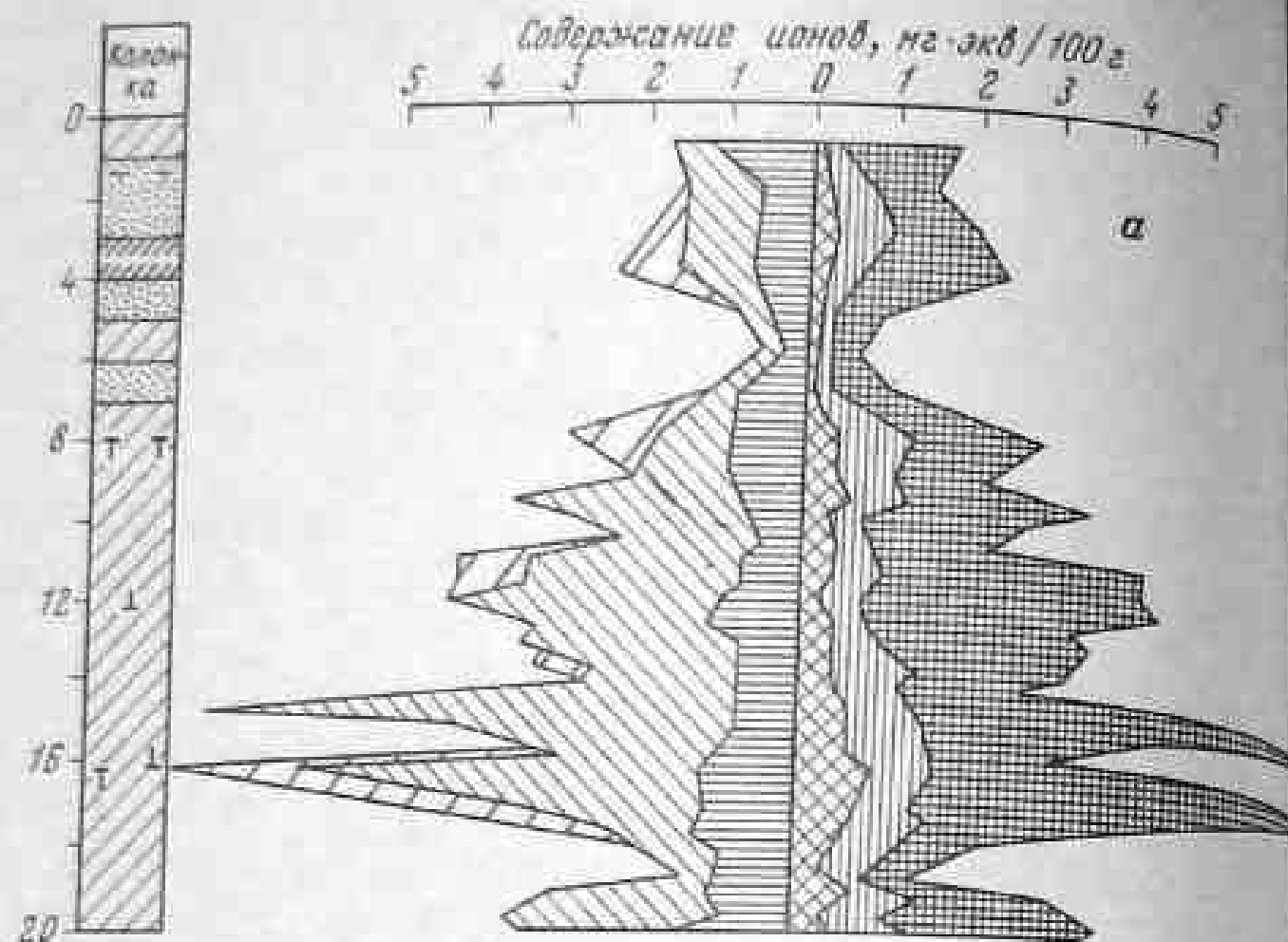


Рис. 27. Химический состав многолетнемерзлых пород, слагающих бортовую часть термокарстовой котловины оз. Сегелей (а) и образовавшихся после обсыхания дна озера (б)

1 - суглинки; 2 - суглинки льдистые; 3 - супеси; 4 - пески; 5 - пески с прослоями супесей; 6 - суглинки заиленные; 7 - почвенно-растительный слой; 8 - граница многолетнемерзлых пород

В песках и супесях, отделяющих нижние суглинки от верхних, сумма солей колеблется от 0,04 до 0,6%, преобладают гидрокарбонаты кальция и магния.

Химический состав трещинно-жильных льдов изучался на образцах, отобранных в процессе проходки скважин и шурфов в льдовмещающих мелкозернистых песках и супесях на левобережье и в суглинках - на правобережье. Поскольку жильный лед обычно содержит грунтовые прослой, для получения "чистого" льда керны, извлекаемые из скважин, подвергались специальной обработке. Керны льда высотой 1-1,5 см через несколько минут после извлечения их из буровых скважин разламывались по грунтовым прослоям, и грунт соскабливался ножом. Затем очищенные кусочки льда обтирались чистой марлей, слегка обтаивались на воздухе и собирались пинцетом в химически чистые стеклянные банки. Даже после такой тщательной очистки вода из растаявших кусочков льда оказывалась мутноватой из-за взвешенных во льду мелких минеральных частиц. Вода профильтровывалась через бумажные фильтры, объем ее замерялся, а минеральные примеси, оставшиеся на фильтре, взвешивались для сравнения и внесения соответствующих коррективов.

Данные химических анализов свидетельствуют о том, что минерализация льда по вертикальному разрезу жила изменяется мало - от

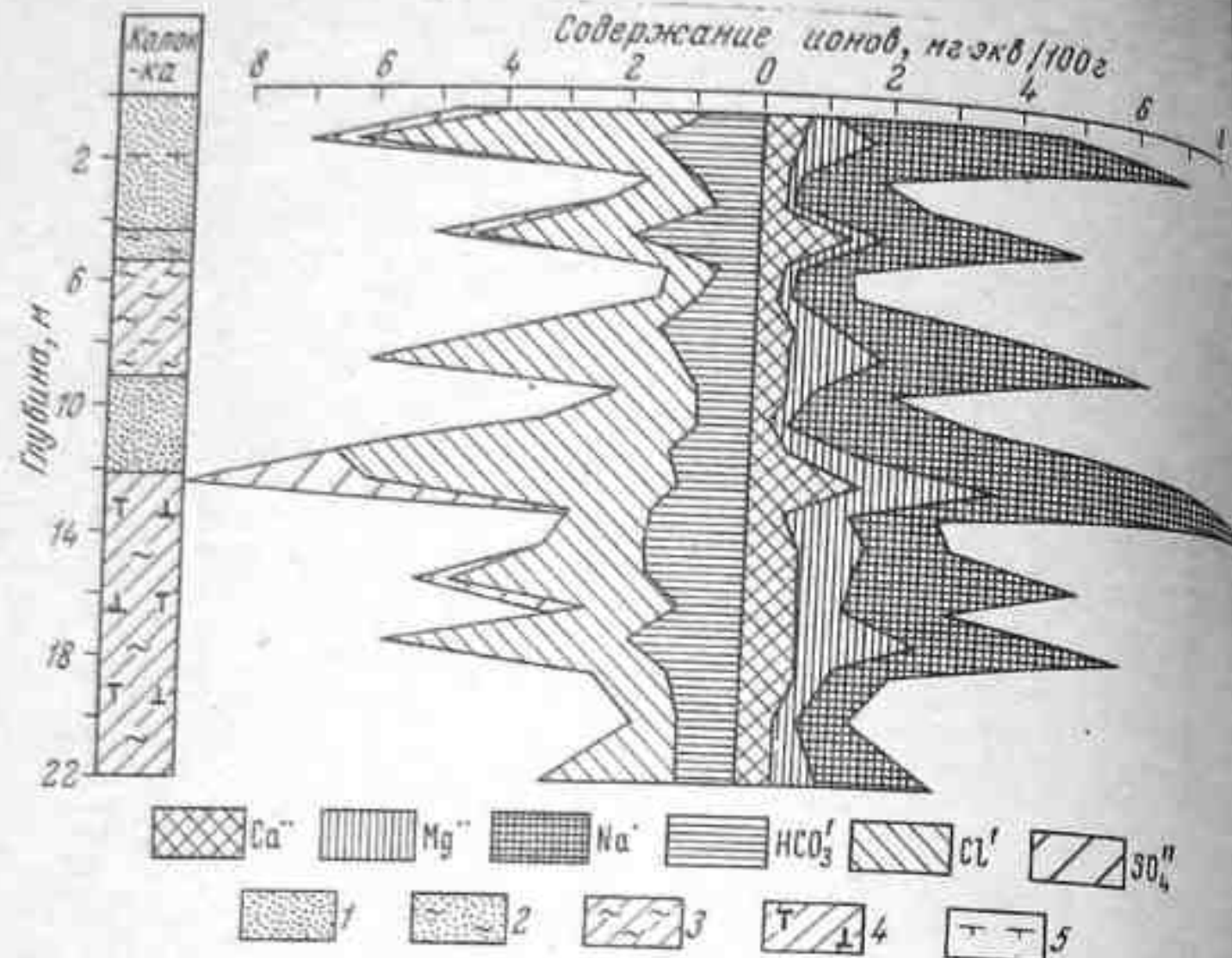


Рис. 28. Изменение химического состава воднорастворимых солей многолетнемерзлых озерно-аллювиальных отложений Тунгальской террасы в районе оз. Тунгюлю (скв. 90а)
1 - пески; 2 - пески заиленные; 3 - суглинки заиленные; 4 - суглинки льдистые; 5 - граница многолетнемерзлых пород

Т а б л и ц а 13

Химический состав водных вытяжек из многолетнемерзлых песков первой надпойменной террасы в районе участка Куолукен (Емюсская, Коноровский, Саввинов, 1966)

Глубина отбора образца, м	Сумма солей, %	Содержание ионов, мг. экв на 100 г породы					
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ [']	SO ₄ ^{''}	Cl [']
Вершина увала							
1,4-1,8	0,15	0,35	0,65	0,70	0,45	0,10	0,15
1,8-2,2	0,07	0,65	1,00	Нет	0,70	0,55	0,20
2,2-2,5	0,14	1,00	0,95	"	0,75	0,11	0,25
Мезопонижение							
1,0-1,4	0,20	0,35	0,80	1,15	0,40	0,50	1,40
1,4-1,8	0,68	0,60	0,15	1,14	0,35	0,99	0,55
1,8-2,2	0,15	0,35	0,55	0,56	0,40	0,71	0,35
2,2-2,5	0,21	1,00	0,30	1,50	0,40	1,60	0,80

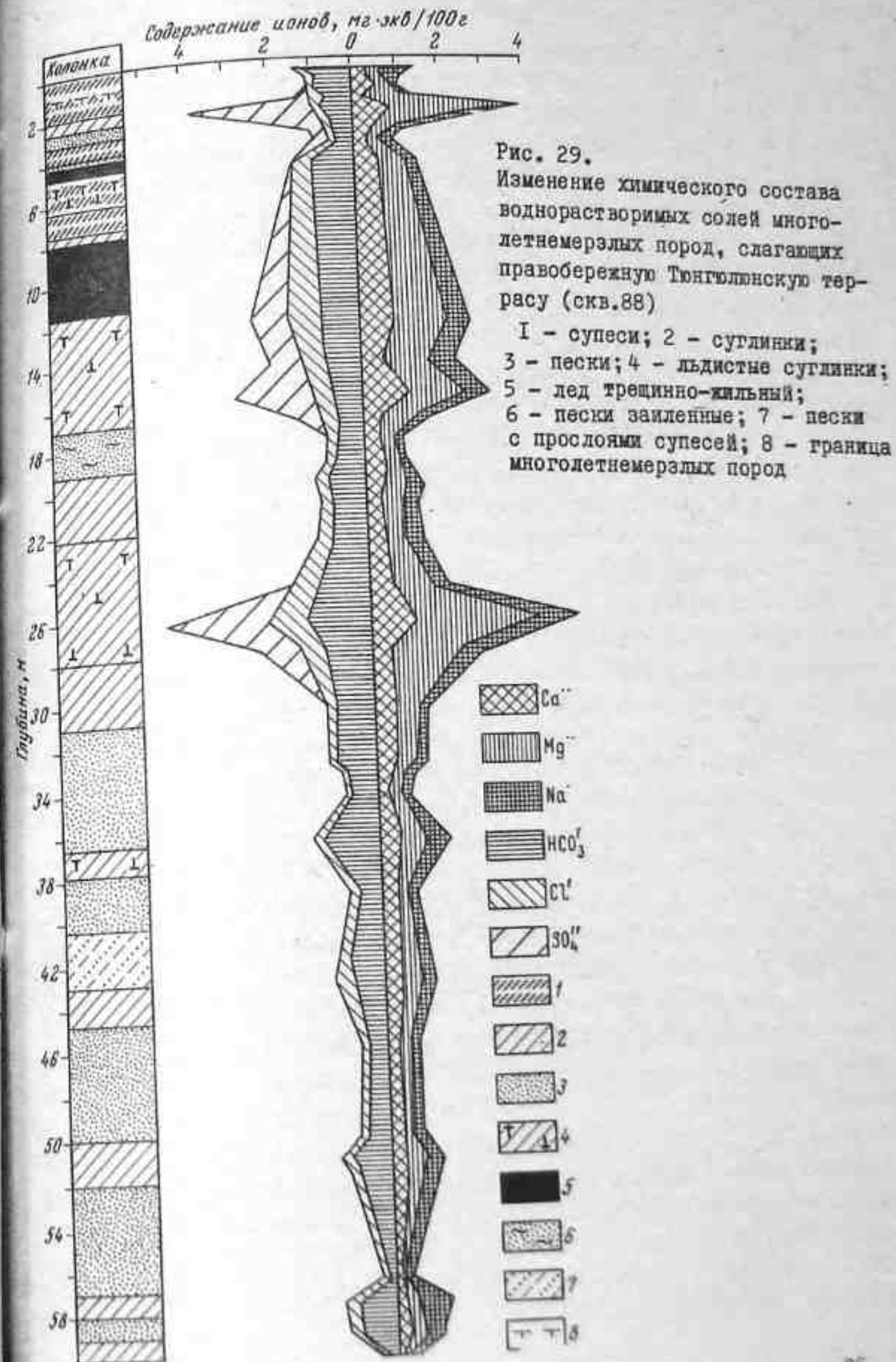


Рис. 29. Изменение химического состава воднорастворимых солей многолетнемерзлых пород, составляющих правобережную Тунгальскую террасу (скв. 88)
1 - супеси; 2 - суглинки; 3 - пески; 4 - льдистые суглинки; 5 - лед трещинно-жильный; 6 - пески заиленные; 7 - пески с прослоями супесей; 8 - граница многолетнемерзлых пород

0,05 до 0,08 г/л (табл. I4). Более высокая концентрация растворенных солей отмечается в верхних оплавленных слоях жил, по-видимому, частично протаивавших в периоды потепления климата.

В солевом составе жильных льдов преобладают гидрокарбонаты кальция и магния. В составе специфических солей, содержащихся в них в небольших количествах, имеются различия: для льдов левобережья характерно присутствие хлоридов магния, для льдов правобережья — гидрокарбонатов натрия. Это, возможно, связано с различиями в составе талых вод, заливавших морозобойные трещины в период образования и роста ледяных жил. Такое предположение подтверждается различиями в солевом составе современных талых вод, формирующихся на участках, сложенных песчаными отложениями и суглинками (см. табл. I4).

По опубликованным в печати данным химических анализов трещино-жильных льдов (Граве, 1944; Соловьев, 1959, и др.), минерализация их зачастую достигает 0,1–0,5 г/л. Такие высокие ее значения свидетельствуют об отборе проб льда без отделения от грунтовых включений. Как показали исследования, при таянии монолитов жильного льда минерализация образующейся воды тем выше, чем больше было в них грунтовых прослоев (табл. I5).

Данных о составе и концентрации воднорастворимых солей в многолетнемерзлых неогеновых отложениях, залегающих под толщей четвертичных пород, мало. Химические анализы водных вытяжек из неогеновых песков, супесей и глин, залегающих на междуречье Ханчалы — Кенкеме (скв. 2, 5, 4) и в районе оз. Намсыр (скв. I6), свидетельствуют о том, что концентрация и состав воднорастворимых солей по вертикальному разрезу пород несколько изменяются (табл. I6). Сумма воднорастворимых солей в песках, слагающих верхнюю девяностометровую толщу пород, колеблется от 0,03 до 0,08%, а в супесях и глинах повышается до 0,02%. В солевом составе до глубины примерно 40–50 м преобладают гидрокарбонаты и сульфаты кальция и натрия, а глубже — гидрокарбонаты натрия.

Юрские песчаники мощностью 30 м, залегающие под толщей четвертичных отложений Тунгюльонской террасы в южной правобережной части района, полностью пройдены скв. I32. Образцы пород на водную вытяжку отобраны с глубин 34, 37, 38, 49, 55 и 60 м. Из данных химических анализов (см. табл. I6) видно, что в водную вытяжку из песчаников, слагающих самые верхние слои юрских отложений (глубина 32–38 м), переходят главным образом гидрокарбонаты кальция, а из пиритизированных песчаников, залегающих на глубине 50 м, — сульфаты и гидрокарбонаты кальция и магния. Общая концентрация солей в водных вытяжках из этих пород 0,03–0,05%.

Таблица 14

Химический состав подземных льдов*

Химический состав подземных льдов			Содержание ионов											
Номер скважины	Глубина отбора образца, м	Сумма минеральных веществ, мг/л	мг/л						мг. экв					
			Ca	Mg	Na+K	HCO ₃ '	SO ₄ ''	Cl'	Ca	Mg	Na+K	HCO ₃ '	SO ₄ ''	Cl'
Левый берег р. Лены														
54	4,5-5	73,9	11,2	7,3	8,9	59,8	7,2	17,4	0,58	0,60	0,39	0,98	0,15	0,49
	5-6	69,4	11,2	7,3	5,5	65,9	Нет	12,4	0,58	0,60	0,24	1,08	Нет	0,35
	8-9	68,5	13,6	7,1	4,4	67,0	"	9,9	0,68	0,51	0,19	1,10	"	0,28
	9-10	64,6	13,6	6,0	3,2	61,0	"	11,3	0,68	0,49	0,14	1,00	"	0,31
	10-11	65,1	11,6	9,5	0,5	72,0	"	7,5	0,58	0,78	0,02	1,18	"	0,21
	11-12	67,5	13,6	8,3	1,1	67,0	"	11,0	0,68	0,68	0,05	1,10	"	0,31
	56	7,0	68,2	15,6	9,2	Нет	72,0	"	7,4	0,78	0,76	Нет	1,18	"
7,5		56,2	11,6	7,1	0,5	59,8	"	7,4	0,58	0,58	0,02	0,98	"	0,21
8,6		53,4	11,6	4,7	2,8	58,6	"	5,0	0,58	0,39	0,12	0,96	"	0,14
Правый берег р. Лены														
150	6,0	80,0	10,6	6,5	11,6	73,2	Нет	13,0	0,53	0,53	0,50	1,20	Нет	0,37
	4,9	48,8	8,7	6,5	0,2	42,7	2,0	4,7	0,43	0,53	0,01	0,70	0,04	0,13
151	5,7	27,6	2,8	0,6	7,8	20,3	Нет	6,4	0,14	0,05	0,33	0,34	Нет	0,18
	10,0	90,0	10,1	6,5	16,3	87,2	"	16,7	0,50	0,53	0,71	1,43	"	0,47
90	8,0	61,3	9,8	4,1	8,9	60,4	"	8,2	0,49	0,34	0,39	0,99	"	0,23
	9,0	39,7	9,4	1,3	4,6	36,0	"	6,4	0,47	0,10	0,20	0,59	"	0,18
механически очищены от грунтовых прослоек														

* При подготовке образцов льда к анализу они были механически очищены от грунтовых прослоек

Т а б л и ц а 15

Химический состав воды, полученной при таянии монолитов
жильного льда и сильно льдистых пород

Место от- бора про- бы	Глу- бина отбо- ра, м	Сумма мине- ральных веществ, г/л	Содержание ионов, мг/л						Cl
			Ca	Mg	Na+K	HCO ₃	SO ₄		
Скв. 48	3,8	0,52	10,0	24,2	177,0	224,6	158,5		43,6
То же	5,5	0,29	16,4	22,0	67,4	156,8	4,8		102,5
Шурф вбли- зи долины р. Ханчалы	3,0	2,13	115,0	158,0	326,0	136,0	1398,8		63,8
Шурф в 4 км от р. Ханчалы	3,0	1,89	90,4	242,0	187,0	378,0	956,9		228,0
То же, из верхней части жилы	3,0	0,80	63,9	69,6	104,0	264,0	409,0		22,0

Место от- бора про- бы	Глу- бина отбо- ра, м	Сумма мине- ральных веществ, г/л	Содержание ионов, мг. экв						Cl
			Ca	Mg	Na+K	HCO ₃	SO ₄		
Скв. 48	3,8	0,52	0,50	1,99	5,71	3,67	3,30		1,23
То же	5,5	0,29	0,82	1,81	2,93	2,57	0,10		2,89
Шурф вбли- зи долины р. Ханчалы	3,0	2,13	5,76	12,96	14,19	2,22	28,90		1,80
Шурф в 4 км от р. Ханчалы	3,0	1,89	4,51	19,92	8,13	6,20	19,92		6,44
То же, из верх- ней час- ти жилы	3,0	0,80	3,19	5,73	4,54	4,33	8,51		0,62

В водной вытяжке из юрского песчаника, залегающего под водоно-
сными аллювиальными отложениями на глубине 55,5 м в талике под
власом Туустах (скв. 127), преобладают гидрокарбонаты натрия при
повышенном содержании хлоридов натрия, как и в воде, насыщающей
вышезалегающие рыхлые отложения. В вытяжке из песчаника с глуби-
ны 62 м преобладают гидрокарбонаты кальция, сульфаты содержатся
в небольшом количестве.

В водной вытяжке из юрского песчаника, вскрытого на глубине
24 м, под толщей многолетнемерзлых аллювиальных отложений на пра-
вобережье (скв. 156), сумма солей составляет 0,12%, преобладают
среди них сульфаты кальция.

В верхних слоях песчаника, подстилающего аллювиальные отложе-
ния второй надпойменной террасы на левом берегу р. Лены (скв. 20),
воднорастворимые соли представлены гидрокарбонатами и сульфатами
натрия.

Приведенные примеры показывают, что состав воднорастворимых
солей в верхних слоях юрских песчаников, подстилающих аллювиаль-
ные отложения, по площади несколько изменяется.

Данные химического состава водных вытяжек из отложений сред-
него кембрия, вскрытого под юрскими песчаниками на правом берегу
р. Лены в районе оз. Хатылыма, показывают, что содержание водно-
растворимых солей в них примерно такое же, как и в юрских песча-
никах (см. табл. 16, скв. 132, глубина 60 м). Среди них большая
доля приходится на гидрокарбонаты натрия, как и в воде, циркули-
рующей по этим породам.

В водной вытяжке из многолетнемерзлого мергеля, вскрытого в
этом же районе на глубине 42 м (скв. 146), преобладают гидрокар-
бонаты кальция при общем содержании солей 0,02%.

Химический состав атмосферных осадков

Химический состав атмосферных осадков в виде дождя и снега
изучался на обоих берегах р. Лены. На правом берегу пробы были ото-
браны в районе нижнего течения р. Улахан-Тарын и в окрестностях
пос. Хатылыма, а на левом — в местности Сергелях, находящейся в
3 км к западу от г. Якутска. Всего отобрано и проанализировано
60 проб снега и дождя.

Снег для анализа собирался на листы фанеры и кальки в период
его выпадения. В некоторых пунктах пробы отбирались из слоев сне-
га в конце зимы. Дождевые воды собирались в большие эмалированные
химически чистые тазы и непосредственно в бутылки через специаль-
ные воронкообразные водосборники из клеенки, предварительно об-
мытые дистиллированной водой. Для определения агрессивности про-

бы дождя собирались в бутылки с мрамором. Химические анализы атмосферных вод проводились обычными объемными методами с использованием основных рабочих растворов соляной кислоты, трилона и азотнокислой ртути 0,01 N, содержание натрия и калия вычислялось по разности сумм анионов и катионов.

Полученные данные (1965 г.) свидетельствуют о том, что минерализация атмосферных осадков, выпадающих приблизительно в одно и то же время в разных районах Центральной Якутии, неодинакова (табл. 17). В основном это связано с разной степенью запыленности атмосферы взвешенными частицами пород и солей, а вблизи населенных пунктов — дымовыми газами.

Как правило, в первых порциях дождя минерализация выше, чем в последующих. Особенно при кратковременных ливнях.

В летнее время в исследованном районе господствуют западные и юго-западные ветры, которые приносят более чистый воздух, проходящий над обширной залесенной территорией. Поэтому минерализация дождя даже в первых порциях на левом берегу р. Лены не превышает 10-12 мг/л и довольно быстро понижается до 4-5 мг/л.

Проходя над р. Леной и над ее низкими почти не залесенными широкими террасами, на которых развиты солонцовые и солончаковые почвы, воздух обогащается частицами пород и солей, захваченных ветром с поверхности земли и воды. На правом берегу р. Лены воздух еще больше загрязняется за счет частиц почв и солей, выносимых из многочисленных усыхающих озерных котловин. В результате минерализация первых порций дождя, выпадающего здесь, достигает 40-60 мг/л. Более высокая минерализация дождевой воды отмечается обычно в начале лета. Во второй половине лета, когда дожди имеют затяжной характер, приземные слои воздуха промываются лучше и минерализация осадков на левобережье не превышает 5-6 мг/л, а на правом берегу — 6-10 мг/л.

На левобережье р. Лены в солевом составе дождевых вод преобладают гидрокарбонаты натрия и кальция. В начале дождя отмечается несколько повышенное относительное содержание хлоридов натрия и гидрокарбонатов кальция, но через несколько часов преобладающими становятся гидрокарбонаты натрия.

На правом берегу в дождевых водах преобладают гидрокарбонаты кальция и магния. В пробах, отобранных в начале дождя, содержатся хлориды магния — типичные соли поверхностных слоев почвы. При продолжительных дождях возрастает роль гидрокарбонатов натрия.

Как видно из табл. 17, атмосферные осадки избирательно растворяют отдельные компоненты из взвешенных в воздухе частиц. В первую очередь растворяются хлориды, во вторую — более устойчивые

гидрокарбонаты кальция. Поэтому относительное содержание последних, пониженное в первых порциях дождя, в процессе его выпадения возрастает, но затем, при длительных дождях, снова снижается за счет повышения роли гидрокарбонатов натрия.

Минерализация снеговой воды колеблется от 6 до 15-16 мг/л и также в значительной степени зависит от загрязненности атмосферы. Поэтому она выше в пробах, отобранных в начале снегопада. Более высокая минерализация снега (до 20 мг/л) отмечается в пробах, отобранных на территории г. Якутска.

В воде из "чистого" снега, выпадающего на территории Центральной Якутии, преобладают, так же как и в дождевых водах, гидрокарбонаты натрия, в меньшем количестве содержатся хлориды натрия и гидрокарбонаты кальция.

При подсчетах суммарного количества солей, приносимых атмосферными осадками на поверхность земли, мы брали среднюю минерализацию, равную 6 мг/л для левобережья р. Лены и 10 мг/л — для правобережья. Данные минерализации проб, отобранных в первые часы дождя, не учитывались.

Ориентировочный расчет показал, что при средней годовой сумме осадков, равной в Центральной Якутии 200 мм, на 1 км² земли с ними вносится на левобережье около 1 т растворенных солей, на правом берегу — около 1,5 т.

Преобладающую роль среди солей, приносимых атмосферными осадками на поверхность земли, играют гидрокарбонаты и хлориды натрия.

Дождевые воды, выпадающие в Центральной Якутии, имеют кислую и слабокислую реакцию и обладают высокой агрессивностью. Содержание агрессивной углекислоты в первой половине лета достигает 50-60 мг/л, снижаясь при длительных дождях до 17-20 мг/л. Осенью, в сентябре, количество агрессивной углекислоты в дождевых водах понижается до 8-10 мг/л.

В районах выхода на поверхность карбонатных пород кембрия агрессивные дождевые воды, вероятно, способствуют развитию карста. Высокая агрессивность дождевых вод благоприятствует растворению карбонатов почвенных горизонтов, что имеет значение при формировании химического состава надмерзлотных и поверхностных вод, особенно на низких надпойменных террасах р. Лены.

Химический состав надмерзлотных вод сезоннопротаивающих слоев пород

Солевой состав и минерализация пластово-поровых надмерзлотных вод, формирующихся в сезоннопротаивающих слоях, зависят от засоленности водовмещающих пород, состава питающих вод, глубины залегания и условий стока.

Т а б л и ц а 16

Химический состав водных вытяжек из коренных пород

Номер скважины	Глубина отбора образца, м	Сумма солей, %	Содержание ионов, мг. экв на 100 г породы						Порода
			Ca'	Mg''	Na+K'	HCO ₃ '	SO ₄ ''	Cl'	
Неогеновые отложения									
16	7,0	0,14	1,17	0,78	0,04	0,67	1,18	0,13	Супесь пылеватая
	7,5	0,08	0,54	0,37	0,22	0,54	0,41	0,18	То же
	8,5	0,05	0,27	0,20	0,30	0,34	0,33	0,10	Песок мелкозернистый
	9,5	0,04	0,33	0,20	0,07	0,39	0,12	0,09	То же
	13,0	0,04	0,23	0,17	0,16	0,34	0,17	0,05	"
	16,0	0,02	0,14	0,09	0,12	0,11	0,17	0,06	Песок среднезернистый
	20,0	0,03	0,14	0,08	0,16	0,13	0,17	0,09	То же
	21,0	0,09	0,77	0,42	0,21	0,19	1,14	0,06	"
	24,0	0,03	0,09	0,06	0,29	0,20	0,17	0,07	"
	29,0	0,08	0,27	0,23	0,56	0,36	0,63	0,07	Песок мелкозернистый
	30,0	0,08	0,24	0,18	0,71	0,28	0,80	0,06	То же
	35,0	0,06	0,20	0,12	0,56	0,36	0,47	0,06	"
	36,5	0,08	0,20	0,17	0,76	0,52	0,52	0,09	"
	37,0	0,06	0,23	0,12	0,49	0,26	0,51	0,06	"
	53,5	0,13	0,07	0,11	1,50	1,00	0,61	0,07	"
	56,0	0,22	0,21	0,21	2,47	1,92	0,78	0,19	Глина
	62,0	0,13	0,15	0,11	1,42	1,25	0,34	0,09	То же
	64,0	0,13	0,12	0,21	1,36	1,44	0,12	0,13	Супесь пылеватая
	66,0	0,06	0,06	0,06	0,60	0,51	0,12	0,09	То же
16	85,0	0,09	0,09	0,16	0,95	0,90	0,19	0,05	Песок мелкозернистый
	90,0	0,09	0,11	0,11	1,15	1,14	0,17	0,06	То же
Юрские отложения									
182	34,0	0,03	0,32	0,10	0,22	0,55	0,10	Нет	Песчаник
	37,6	0,03	0,39	0,12	Нет	0,50	Нет	"	То же
	38,0	0,05	0,30	0,39	0,23	0,65	0,27	"	"
	49,0	0,04	0,30	0,29	0,16	0,52	0,23	"	"
	55,5	0,04	0,26	0,23	0,19	0,35	0,33	"	"
	60,0	0,04	0,36	0,21	0,19	0,39	0,37	"	"
	62,0	0,04	0,12	0,14	0,47	0,45	0,04	0,25	"
	55,5	0,05	0,12	0,15	0,12	0,45	0,02	0,04	"
127	62,0	0,04	0,23	0,15	0,12	0,44	1,42	0,12	"
	24,0	0,12	1,14	0,46	0,38	0,59	0,66	0,06	"
156	20,0	0,08	0,72	0,38	0,22	0,64	0,42	0,11	Аргиллит
	21,0	0,07	0,40	0,26	0,51	0,64	0,42	0,11	Аргиллит
Кембрийские отложения									
182	63,0	0,06	0,28	0,30	0,42	0,83	0,17	Нет	Известняк
	71,0	0,04	0,26	0,22	0,35	0,83	Нет	"	То же
	42,0	0,02	0,18	0,19	0,11	0,34	0,08	0,05	Мергель
146	42,0	0,02	0,18	0,19	0,11	0,34	0,08	0,05	Мергель

Разновидность атмосферных осадков	Дата отбора пробы	Сумма минеральных веществ, мг/л	Содержание ионов				Содержание ионов									
											% мг. экв					
			Ca	Mg	Na+K	Не ос.	мг/л	Cl	NO ₂	Ca	Mg	Na+K	HCO ₃	SO ₄	Cl	
							НСО ₃	SO ₄								
Правый берег р. Лены, в районе р. Улахан-Тарин																
Дождь	23/VI	38,5	1,2	0,9	10,6	0,1	4,5	Нет	18,6	10,0	13,1	76,9	12,5	Нет	87,5	
То же	24/VI	27,8	7,7	2,0	0,3	0,1	27,9	"	3,9	68,1	29,3	2,6	80,4	"	19,6	
"	24/VI	23,9	7,4	1,1	0,3	0,1	21,9	"	4,5	77,6	19,5	2,9	73,0	"	27,0	
"	24/VI	19,9	1,1	2,2	1,1	0,1	9,1	"	5,0	18,9	63,9	17,2	51,2	"	48,8	
"	25/VI	5,2	0,5	Нет	1,6	0,1	8,8	"	1,5	27,8	Нет	72,2	55,7	"	44,3	
"	8/VII	45,0	8,9	2,8	4,8	0,1	35,5	"	10,8	50,0	26,1	23,9	65,5	"	34,5	
"	9/VII	38,4	11,6	1,2	2,0	0,1	41,5	"	2,9	75,9	12,7	11,4	89,0	"	11,0	
"	19/VII	6,4	1,2	0,8	0,1	0,1	6,7	"	1,0	44,7	51,0	4,3	78,7	"	21,3	
"	13/VIII	9,4	2,4	0,6	0,4	0,1	10,4	"	0,8	62,5	27,2	10,8	87,7	"	12,3	
"	20/VIII	4,8	0,7	0,1	1,1	0,1	4,4	"	0,7	36,8	10,5	52,7	76,8	"	23,2	
"	2/IX	12,9	3,4	0,8	0,1	0,1	9,8	"	3,4	66,4	26,6	7,0	62,5	"	37,5	
"	3/IX	5,6	0,8	Нет	1,5	0,1	4,5	"	1,1	38,1	Нет	61,9	70,5	"	29,5	
"	9/IX	5,4	0,8	0,3	0,9	0,1	5,9	"	0,9	36,9	25,2	37,9	87,4	"	12,6	
Снег, верхний слой	15/X	9,3	0,6	0,3	2,7	0,1	7,4	"	2,0	18,3	14,4	67,3	67,8	"	32,2	
Снег, нижний слой	15/X	6,3	0,8	0,1	1,5	2,0	3,8	"	2,0	35,5	7,5	57,0	52,1	"	47,9	
Левый берег р. Лены, местность Сергелях																
Дождь	26/V	10,1	1,8	0,6	1,1	1,5	6,1	2,0	1,5	0,05	50,8	25,1	24,1	54,6	22,7	22,7
То же	23/VI	5,7	0,6	0,1	1,8	0,5	4,3	Нет	1,0	Нет	80,8	8,6	60,6	74,4	Нет	25,6
"	2/VII	4,9	0,3	Нет	1,6	0,4	4,0	"	0,6	"	17,8	Нет	82,2	77,4	"	22,6
"	2/VII	5,0	0,2	"	1,9	0,1	4,9	"	0,5	"	10,4	"	89,6	84,4	"	15,6
"	18/VII	4,1	0,5	"	1,1	0,1	3,0	"	0,8	"	36,2	"	63,1	67,5	"	32,5
"	19/VII	3,5	0,3	"	1,1	0,1	3,0	"	0,5	"	23,6	"	76,4	79,2	"	20,8
"	19/VII	8,5	0,1	"	1,3	0,1	3,0	"	0,5	"	11,7	"	88,3	79,2	"	20,8
"	19/VII	2,9	0,2	"	1,0	0,1	2,4	"	0,4	"	19,1	"	80,9	76,9	"	23,1
"	12/VIII	2,1	0,5	0,1	0,8	0,1	1,8	"	0,3	"	51,3	12,9	35,8	77,6	"	22,4
"	8/IX	8,2	0,1	Нет	1,2	0,1	2,1	"	0,8	"	11,0	Нет	89,0	62,1	"	37,9
Снег	16/X	9,5	0,5	0,3	3,0	1,5	6,8	"	2,3	"	11,8	13,5	74,7	62,7	"	37,3
То же	20/X	6,8	0,9	Нет	1,9	0,8	6,1	"	1,0	"	34,8	Нет	65,2	78,3	"	21,3
"	25/X	8,6	0,4	"	3,2	0,8	7,6	"	1,2	"	11,4	"	88,6	79,1	"	20,9
"	4/XI	3,7	0,6	0,1	0,7	1,5	2,4	"	1,1	"	47,9	9,8	42,3	59,2	"	40,8
"	9/XI	6,4	1,3	0,4	0,6	1,5	5,8	"	1,5	"	52,3	27,7	20,0	67,7	"	32,3

Химический состав надмерзлотных вод сезоннопотаивающих слоев
песчаных пород

песчаных пород

Место от- бора пробы	Глуби- на от- бора, м	Дата	Сумма минер- альных веществ г/л	Содержание ионов							Fe ⁺⁺										
				мг/л																	
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ [']	SO ₄ ^{''}	Cl [']	Fe ⁺⁺											
Хорошодренированные участки																					
Бестяхская терраса, источник в распаде	-	УП, 1958	0,12	35,7	7,4	2,4	145,8	Нет	4,1	0,2	1,78	0,61	0,11	2,38	Нет	0,12	71,2	24,0	-	0,4	4,4
То же, шурф на склоне оз.Хатылыма	2,0	То же	0,05	11,6	3,5	4,1	36,6	2,0	14,4	0,3	0,58	0,29	0,18	0,60	0,04	0,41	55,4	2,0	-	22,2	16,6
Аллювиальная равнина, шурф на склоне кот- ловины оз. Намыр	2,0	УШ, 1964	0,07	14,2	4,9	7,1	60,4	Нет	15,6	1,5	0,71	0,41	0,31	0,99	Нет	0,44	49,8	19,6	-	8,9	21,7
Слабодренированные участки																					
Бестяхская терраса, скважина в котловине оз.Белейкен	2,5	УП, 1963	0,10	10,2	73,0	22,5	110,0	Нет	10,0	0,8	0,51	0,60	0,98	1,81	Нет	0,28	27,7	40,9	17,1	-	14,3
То же, скв. 157	5,5	УП, 1958	0,10	9,7	5,3	22,3	97,6	"	10,1	0,5	0,49	0,43	0,97	1,60	"	0,28	25,6	23,0	36,2	-	15,2
Аллювиаль- ная равнина, межаласье, шурф	2,0	УП, 1961	0,15	40,5	13,1	1,5	191,3	"	1,6	Не опр.	2,02	1,09	0,06	3,14	"	0,04	63,6	34,2	0,8	-	1,4
То же, затор- фованная низина	0,7	УШ, 1964	0,20	43,9	24,8	19,5	290,0	"	11,6	4,5	2,19	2,04	0,85	4,75	"	0,33	43,1	40,2	10,3	-	6,4
То же, меж- аласье	0,6	УП, 1964	0,18	43,6	9,0	14,4	206,3	"	6,4	2,0	2,18	0,75	0,63	3,38	"	0,18	61,2	21,1	12,6	-	5,1
I надпоймен- ная терраса, скважина	1,5	У, 1956	0,56	104,5	51,5	102,5	613,8	"	136,5	0,9	3,22	4,23	6,46	10,06	"	3,85	23,2	30,4	18,7	-	27,7

Содержание ионов							Гипотететический солевой состав (%)				
мг. экв							Ca(HCO ₃) ₂	Mg(HCO ₃) ₂	NaHCO ₃	MgCl ₂	NaCl
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ [']	SO ₄ ^{''}	Cl [']	Fe ⁺⁺					
Хорошодренированные участки											
1,78	0,61	0,11	2,38	Нет	0,12		71,2	24,0	-	0,4	4,4
0,58	0,29	0,18	0,60	0,04	0,41		55,4	2,0	-	22,2	16,6
0,71	0,41	0,31	0,99	Нет	0,44		49,8	19,6	-	8,9	21,7
Слабодренированные участки											
0,51	0,60	0,98	1,81	Нет	0,28		27,7	40,9	17,1	-	14,3
0,49	0,43	0,97	1,60	"	0,28		25,6	23,0	36,2	-	15,2
2,02	1,09	0,06	3,14	"	0,04		63,6	34,2	0,8	-	1,4
2,19	2,04	0,85	4,75	"	0,33		43,1	40,2	10,3	-	6,4
2,18	0,75	0,63	3,38	"	0,18		61,2	21,1	12,6	-	5,1
3,22	4,23	6,46	10,06	"	3,85		23,2	30,4	18,7	-	27,7

Наименьшую минерализацию (0,05-0,1 г/л) имеют воды, питающиеся атмосферными осадками, циркулирующие в песчаных отложениях, слагающих склоны речных террас, увалов, различного рода понижений и котловин. В их солевом составе преобладают гидрокарбонаты кальция

при повышенном содержании гидрокарбонатов магния и хлоридов натрия и магния (табл. 18).

В условиях замедленного стока на слабодренированных участках межаласий, у оснований песчаных склонов и в понижениях в составе

надмерзлотных вод сезонных слоев, наряду с гидрокарбонатами кальция и магния, появляются гидрокарбонаты натрия, минерализация повышается до 0,2–0,5 г/л. В надмерзлотных водах, у оснований песчаных склонов, обычно содержится железо (до 1–4 мг/л).

В озерных котловинах, при близком залегании от поверхности уровня надмерзлотных вод (менее 1 м), минерализация их повышается до 0,8–1,0 г/л за счет испарения и транспирационной деятельности растений.

На низких террасах в условиях широкого распространения засоленных почв минерализация и состав надмерзлотных вод более изменчивы. Здесь даже в песчаных отложениях минерализация их 0,2–0,5 г/л. В солевом составе преобладают гидрокарбонаты кальция и магния при повышенном содержании хлоридов и сульфатов магния и натрия (см. табл. 18). В замкнутых котловинах концентрация растворенных солей в надмерзлотных водах повышается до 1,5 г/л, преобладающими становятся сульфаты и хлориды магния и натрия.

На пойме и островах состав надмерзлотных вод близок к составу питающих их весенних паводковых речных вод. Наряду с гидрокарбонатами в них содержатся хлориды натрия и магния.

В процессе промерзания протаявших пород изменяется не только минерализация надмерзлотных вод, но и соотношение между ионами за счет обменно-адсорбционных процессов между водой и промерзающей породой и избирательного вовлечения веществ в ледовую фазу пород. Подробнее эти процессы рассматриваются в гл. IV.

Химический состав речных вод

Речные воды являются основным источником питания подрусловых вод и озер эрозионного происхождения. Химический состав воды малых рек формируется под влиянием атмосферных осадков, надмерзлотных, болотных и озерных вод, приносящих соли со сравнительно небольших водосборных площадей. Доля их в питании разных рек на протяжении теплого периода года неодинакова, что отражается на концентрации отдельных компонентов солевого состава речной воды.

Наименьшую минерализацию воды (0,02–0,1 г/л) имеют левобережные притоки р. Лены – реки Кенкеме, Ханчалы, Шестаковка, Орто-Брих и др., долины которых сложены хорошо фильтрующими песками и плоховодопроницаемыми суглинками, способствующими быстрому стоку атмосферных осадков в реки (табл. 19).

На участках, сложенных песчаными отложениями, в реки с надмерзлотными водами поступают железо и кремний. Воды, стекающие в реки из заболоченных ложбин, оврагов, покрытых кустарниковой и травяной растительностью, приносят сульфаты биогенного происхождения и растворенные органические вещества (водный гумус), повышающие окисляемость речной воды.

На протяжении теплого периода года минерализация воды указанных малых рек изменяется незначительно. В ионном составе, наряду с преобладающими гидрокарбонатами магния, содержатся хлориды и сульфаты магния (последние в количестве 3–10% от общего солевого состава).

В нижнем течении реки Мархинка, Текторка, Маганка, Улах преобладают по низким надпойменным террасам р. Лены, сложенным с поверхности засоленными почвами, минерализация воды повышается до 0,20–0,25 г/л. В солевом составе р. Мархинки и ее притока – р. Малый в весенний период содержание сульфатов магния, вымываемых летними водами из поверхностных слоев почвы, достигает 25–35%. В летний период содержание сульфатов в воде этих рек понижается, а общая минерализация повышается за счет гидрокарбонатов кальция, поступающих с надмерзлотными водами из карбонатных горизонтов почвы (см. табл. 19). Зимой минерализация воды, сохраняющейся в углубленных участках русла, повышается до 0,25 г/л. В ее солевом составе возрастает содержание гидрокарбонатов и хлоридов натрия.

Химический состав воды правобережных притоков р. Лены (реки Суола, Тамма, Менда, Лютенка) формируется в несколько иных условиях. Водосборную площадь бассейнов этих рек слагают суглинистые грунты и лишь в нижнем течении песчаные. В питании рек, наряду с атмосферными осадками, значительную роль играют надмерзлотные и озерные воды.

В солевом составе воды рек Таммы и Суолы в верхнем и среднем течении преобладают гидрокарбонаты магния. Содержание сульфатов магния в весенних паводковых водах достигает 5–14%, а в летний период понижается до 1–2%. Минерализация воды в летний период по сравнению с весенним паводком возрастает в 2–3 раза за счет гидрокарбонатов магния и кальция. В нижнем течении, где в питании рек увеличивается значение надмерзлотных, межмерзлотных и озерных вод, в солевом составе заметно повышается содержание гидрокарбонатов натрия (см. табл. 19).

В зимний период минерализация воды, сохраняющейся в углубленных руслах, повышается до 0,35–0,47 г/л.

Реки Менда и Лютенка, протекающие в южной правобережной части района, в летний период имеют гидрокарбонатный магниевый-кальциевый состав воды при минерализации 0,12–0,15 г/л. В питании рек играют роль и подземные воды, выходящие по берегам (например, ист. Менденский). В зимний период минерализация воды в р. Менде увеличивается до 0,42 г/л, преобладающим среди катионов становится магний (как и в воде источников, питающих реку в нижнем течении).

Т а б л и ц а 19
Химический состав речных вод

Река, пункт	Дата отбора пробы	рН	Сумма минеральных веществ, г/л	Содержание ионов				
				мг/л				
				Ca	Mg	Na+K	NH ₄	Fe + Pb
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Левый берег р. Лены								
Ханчалы, среднее течение	I/VI 1960	7,2	0,08	5,4	1,4	3,5	1,0	0,6
То же	6/VI 1960	7,0	0,08	7,2	3,2	1,5	0,4	0,4
Кенкене, зимовье "Второй Станок"	9/VI 1961	Не опр.	0,02*	4,0	2,1	0,8	Не опр.	0,32
То же	24/VI 1961	То же	0,03*	8,2	3,3	Нет	То же	Нет
"	30/VI 1961	"	0,06*	16,0	5,8	"	"	"
"	31/VI 1961	"	0,06*	17,0	6,2	"	"	"
"	30/IX 1961	"	0,04*	11,8	4,5	"	"	"
Мархинка, с. Б.Марха	15/VI 1959	7,1	0,10	14,4	7,0	"	"	"
То же	10/VI 1959	7,6	0,11	28,5	9,1	2,3	"	"
"	IX 1960	Не опр.	0,12	22,3	12,6	6,4	"	"
"	27/VI 1960	То же	0,24	35,9	17,4	33,1	3,0	2,0
Маганка, с. Б.Марха	15/VI 1959	7,0	0,06*	14,0	6,2	1,3	Не опр.	Не опр.
То же	10/VI 1959	7,1	0,10*	28,3	9,0	2,3	То же	То же
Маганка, верхнее течение	14/VI 1964	7,4	0,10	26,0	7,6	3,5	0,2	0,3
Маганка, порт Маган	12/VI 1964	7,4	0,14	32,2	9,2	12,6	Нет	Нет
Вестаковка, вод. пост Камырдигистах	17/VI 1956	Не опр.	0,04	1,8	1,0	13,2	Не опр.	Не опр.
То же	2/VI 1953	То же	0,03	8,0	2,4	Нет	То же	То же
"	15/VI 1959	6,6	0,03*	3,8	2,2	0,3	Нет	0,12
Улах	17/VI 1961	Не опр.	0,10	21,4	8,5	2,1	"	Нет
Ручей, впадающий в р. Улах	24/VI 1964	7,3	0,13	18,0	12,3	16,1	1,5	"
Ручей Котюрдах-Бройз (правый приток руч. Таастах)	26/VI 1964	7,2	0,18	22,0	14,4	26,8	7,5	6,0
Сасабит, ферма Анды-Кюль	28/VI 1961	6,0	0,23	29,3	12,9	48,2	Не опр.	Не опр.

Содержание ионов									
мг экв									
SO ₄ ^{II}	Cl ^I	NO ₂ ^I	Ca ^{II}	Mg ^{II}	Na+K	HCO ₃ ^I	SO ₄ ^{II}	Cl ^I	
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Левый берег р. Лены									
31,7	Нет	3,3	Нет	44,9	19,9	26,0	84,4	Нет	15,6
31,5	"	1,9	"	52,3	38,3	9,4	92,1	"	7,9
13,9	1,7	1,9	0,1	50,0	42,4	7,6	77,6	10,0	12,4
36,0	0,8	1,5	Нет	60,2	39,8	Нет	90,8	3,0	6,2
64,7	1,2	1,7	"	62,4	37,6	"	93,8	1,8	4,4
70,8	2,6	1,5	"	62,4	37,6	"	92,8	4,0	3,2
51,2	2,2	1,3	0,1	61,4	38,6	"	90,4	5,4	4,2
52,5	16,1	3,4	Не опр.	55,4	44,6	"	66,2	26,2	7,6
131,1	4,6	0,4	То же	62,8	33,2	4,0	95,2	4,4	0,4
103,9	18,0	10,6	"	26,8	23,9	49,3	84,5	8,6	6,9
334,8	Следы	29,0	Нет	38,4	30,7	30,9	82,5	-	17,5
40,3	24,1	3,4	Не опр.	55,6	40,4	4,0	52,4	39,6	8,0
130,5	4,3	0,4	То же	63,0	33,0	4,0	95,6	4,0	0,4
118,4	Нет	4,8	Нет	62,5	30,1	7,4	93,5	Нет	6,5
152,0	"	8,8	"	55,9	26,1	18,7	85,7	5,7	8,6
36,6	5,0	1,5	Не опр.	12,0	11,0	77,0	80,4	13,9	5,6
30,3	Нет	3,5	То же	67,2	32,8	Нет	83,4	Нет	16,6
14,0	3,8	2,5	Нет	25,0	23,7	1,3	30,3	10,5	9,2
93,6	8,0	5,6	"	57,4	37,6	4,9	82,5	9,0	8,5
137,0	8,0	7,0	"	34,3	38,9	26,8	86,1	6,4	7,5
188,0	Нет	12,7	"	31,8	34,4	38,8	89,6	Нет	10,4
365,4	"	9,9	"	31,6	28,2	45,2	93,9	"	6,0

Река, пункт	Дата отбора пробы	рН	Сумма минеральных веществ, г/л	Содержание ионов				
				мг/л				
				Ca ⁺	Mg ⁺⁺	Na+K ⁺	NH ₄ ⁺	Fe+Mn
Правый берег р. Лены								
Ручей Мас-Урих	14/VI 1963	7,1	0,07	11,4	7,7	6,2	0,1	Нет
То же	2/УП 1963	7,2	0,08	9,6	7,2	6,9	0,6	0,2
Суола, нижнее течение	15/УШ 1962	7,9	0,21	54,5	31,9	74,1	0,1	Не опр.
Суола, пос. Бутяйдах	19/У 1963	Не опр.	0,47*	27,6	24,9	136,8	Не опр.	0,8
То же	13/У 1963	То же	0,12*	15,6	11,7	14,8	То же	0,7
"	21/У 1963	"	0,09*	18,4	10,5	2,0	"	0,2
"	31/У 1963	"	0,09*	20,2	10,2	0,7	"	0,1
"	22/УП 1963	"	0,20*	34,1	22,6	16,2	"	0,2
"	15/IX 1963	"	0,24*	31,3	23,8	34,5	"	0,1
Суола, нижнее течение	20/УШ 1963	7,6	0,22	33,5	21,5	25,5	3,3	0,3
Тамма, вод. пост. Натараха	28/УШ 1954	7,6	0,19	37,3	18,5	14,8	Нет	Нет
То же	25/УП 1959	7,6	0,16	35,8	15,4	6,0	0,7	"
"	9/У 1963	Не опр.	0,33*	44,5	27,0	54,5	Не опр.	0,1
"	21/У 1963	То же	0,05*	11,4	6,9	Нет	То же	0,4
"	24/У 1963	"	0,05*	11,6	7,2	"	"	0,5
"	4/VI 1963	"	0,08*	16,8	8,6	"	"	0,1
"	12/УП 1963	"	0,15*	31,5	15,2	6,0	"	0,1
Тамма, нижнее течение	10/УШ 1963	"	0,21	34,5	16,9	27,6	0,5	1,0
Менда, нижнее течение	8/Ш 1951	"	0,42	75,5	62,5	2,8		
То же	7/УП 1965	7,0	0,15	31,9	14,8	6,7	0,1	0,3
Лутенка, нижнее течение	7/УП 1965	7,0	0,13	36,7	8,5	1,2	0,4	Нет

Содержание ионов									
				мг. экв					
NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁺⁺	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na+K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁺⁺	Cl ⁻
Правый берег р. Лены									
72,6	Нет	10,0	Нет	38,8	42,8	18,4	80,9	Нет	19,0
"	"	20,4	"	35,0	43,1	21,9	79,6	"	20,4
79,6	Нет	7,4	Нет	48,0	46,3	5,7	96,3	Нет	3,7
333,0	10,0	27,3	"	15,6	22,0	61,4	89,0	2,4	8,6
433,1	13,7	7,6	0,03	23,4	40,4	25,4	79,0	12,0	9,0
112,2	12,4	2,8	Нет	49,4	46,2	4,4	81,8	14,0	4,2
92,7	6,3	3,5	"	43,8	44,6	1,6	87,8	7,0	5,4
100,6	2,6	8,9	"	40,4	44,2	15,4	92,8	1,2	6,0
238,5	3,8	12,5	"	31,8	40,0	28,2	91,2	1,6	7,2
272,7	Нет	13,5	"	36,7	38,9	24,4	83,3	Нет	8,2
231,0	"	9,6	"	46,4	37,8	15,8	93,4	"	6,6
228,0	"	6,6	"	53,0	38,4	7,9	94,6	"	5,4
193,7	0,7	11,1	0,01	33,6	33,6	32,8	95,2	0,2	4,6
384,3	2,7	2,2	Не опр.	50,0	50,0	Нет	89,2	5,4	4,4
59,8	2,7	2,2	То же	49,6	50,4	"	89,2	5,4	5,4
59,8	9,9	2,8	"	54,2	45,8	"	89,6	5,2	5,2
83,6	3,5	4,0	"	51,4	40,8	7,8	94,2	2,2	3,6
175,7	Следы	11,7	Нет	39,8	32,3	27,8	92,3	Следы	7,7
243,0	Нет	32,2	"	41,7	56,2	1,4	89,9	Нет	10,1
495,9	7,8	3,4	"	51,8	38,5	9,7	91,5	5,2	3,3
171,7	Нет	2,4	"	70,7	27,2	2,1	97,8	Нет	2,7
154,1									

* Анализ заимствованы из гидрологических ежегодников 1959, 1961 и 1963 гг.

Т а б л и ц а 20

Химический состав воды термокарстовых озер

Озеро	Номер озера на схеме	Дата отбора пробы	Сумма минеральных веществ, г/л	Содержание ионов, мг. экв									
				pH	Ca	Mg	Na+K	HCO ₃ ^I	CO ₃ ^{II}	SO ₄ ^{II}	Cl ^I	Na Cl	Ca Mg
М о л о д ы е р а з в и в а ю щ и е с я о з е р а													
Агъс-Нэрга	143	9/УП 1963	0,75	8,4	1,14	7,82	6,51	8,38	4,79	Нет	2,30	2,80	0,14
Ыт-Кюеля	298	20/УШ 1963	0,83	8,0	2,09	11,86	3,81	11,46	3,73	"	2,57	1,40	0,17
Без названия	86	28/УІ 1961	0,61	7,3	0,82	5,85	6,16	8,38	2,54	"	1,96	3,00	0,14
З р е л ы е о з е р а													
Без названия	85	28/УІ 1961	1,79	8,0	1,95	19,12	16,62	23,72	7,84	Нет	6,13	2,50	0,10
То же	288	20/УШ 1963	1,99	8,8	0,95	22,85	17,40	17,15	15,25	"	8,80	1,90	0,04
Чараннах	80	31/Х 1962	3,45	8,6	0,96	37,31	28,12	48,10	8,83	"	9,46	2,90	0,02
У с ы х а ю щ и е м е л к о в о д н ы е о з е р а													
Луах	65	15/УІ 1961	0,90	7,2	0,88	5,51	8,46	5,19	4,51	0,98	4,16	2,00	0,16
Восточное	67	30/УП 1961	1,10	7,6	0,75	11,41	10,98	15,72	1,87	Нет	5,50	2,00	0,06
Себидях	129	19/УІ 1964	1,35	8,4	0,39	9,67	16,70	11,55	9,07	"	6,15	2,70	0,04
Спуск	161	9/УП 1963	0,55	7,9	1,14	5,62	4,69	7,98	1,99	"	1,48	3,10	0,2
Амбардах	171	9/УП 1963	1,06	7,7	0,40	9,22	10,09	11,88	5,79	"	2,04	5,00	0,04

О з е р а у с ы х а ю щ и е, б о л ь ш и е п о п л о щ а д и

Б. Тынгюль, с поверхности	207	5/УШ 1932	1,05	Не опр.	1,00	9,38	10,66	16,15	Нет	0,15	4,74	2,30	0,10	
То же, с глубины 7 м	207	5/УШ 1932	1,01	То же	1,19	9,88	9,50	16,09	"	0,19	4,29	2,20	0,12	
То же, с поверхности	207	18/УІ 1957	2,13	"	0,27	18,04	24,59	17,67	17,15	Нет	8,08	3,00	0,01	
Ытн-Кюель	244	20/УП 1939	2,83	"	0,84	14,51	39,33	30,25	10,00	"	14,44	2,70	0,21	
То же	244	24/УІ 1959	3,97	"	0,19	11,75	63,10	17,07	36,52	"	21,41	3,00	0,16	
Лечебное	246	24/УІ 1959	3,09	8,6	0,33	3,44	52,73	4,22	28,28	"	24,00	2,20	0,09	
Туустах	258	26/У 1958	1,34	10,0	0,10	4,59	20,33	6,25	7,39	0,04	11,34	1,80	0,02	
Тураннах	291	Лето, 1935	4,63	Не опр.	0,39	1,81	78,79	32,31	13,70	0,39	30,90	2,70	0,21	
То же	291	1/ІХ 1963	24,50	8,4	0,42	0,23	433,10	83,32	133,31	22,95	194,16	2,00	1,80	
Абалах	282	Лето, 1935	22,74	Не опр.	Нет	7,88	407,27	157,67	98,01	Нет	159,47	2,50	-	
То же	282	3/УІ 1957	18,82	То же	"	0,81	340,60	15,15	201,81	3,78	120,58	2,90	-	

С т о ч н ы е и п р о т о ч н ы е о з е р а

Барбара-Кюель	79	28/УІ 1961	0,39	7,6	0,78	3,32	3,75	5,84	0,39	Нет	1,61	2,30	0,23	
Тупиковое	75	28/УІ 1961	0,12	7,7	0,58	1,37	0,68	2,31	Нет	"	0,31	2,20	0,40	
Аласное у фермы	166	9/УП 1963	0,30	7,9	1,56	2,77	1,96	3,05	2,87	"	0,37	5,30	0,56	
Чнаппара	57	9/УП 1963	0,18	7,7	0,89	1,88	1,09	2,39	1,19	"	0,28	3,90	0,47	
Диринг-Кюель	170	9/УП 1963	0,20	7,8	1,14	1,87	1,43	3,19	0,79	"	0,23	6,20	0,60	
Марага	142	9/УП 1963	0,24	7,6	0,97	2,12	1,78	4,59	Нет	"	0,28	6,40	0,46	
Нол-Тынгюль	216	15/УШ 1962	0,30	7,4	1,36	3,40	1,52	5,55	"	"	0,73	2,10	0,41	
То же	216	21/УШ 1932	0,35	Не опр.	1,28	3,81	2,23	6,32	"	0,27	0,73	3,10	0,35	

Водородный тип биохимической десульфатизации протекает при окислении молекулярного водорода (Бунеев, Харитонов, 1948). Постановки водорода при этом процессе — разлагающаяся клетчатка, а также повторнолинные льды, в которых, по данным П.А.Шумского (1952), содержится необычайно большое количество газов (в среднем 47% объема талой воды), представляющих собой почти бескислородную смесь инертных (аргон, азот) и биохимических (углекислота, водород, аммиак, метан) газов. Как известно, водонасыщенные суглинки, так же как и илы, способны удерживать в себе газообразные вещества. Поэтому водород, метан и другие газы, освобождающиеся при протавании льдов, длительное время удерживаются в сфере биохимических процессов, при которых они могут быть полностью использованы.

При водородной десульфатизации, наряду с сульфидами, образуется вода, и в результате гидролиза ионов наступает резкий сдвиг реакции в щелочную сторону. Активизацию молекулярного водорода при этом процессе А.Н.Бунеев и Л.П.Харитонов объясняют энзимом гидрогеназой, который выделяется микроорганизмами. В проведенных ими лабораторных экспериментах по восстановлению сульфатов в водах краинских сероводородных источников были получены данные, свидетельствующие о том, что образование сероводорода в анаэробных условиях, в темноте, в атмосфере водорода происходит значительно интенсивнее (7-8 мг/л за сутки), чем при углеродной десульфатизации, протекающей при участии сульфатредуцирующих бактерий и органического вещества (5 мг/л за 3,5 месяца).

Десульфатизация, наряду с другими сложными процессами распада органического вещества в донных отложениях озер, вызывает изменения сначала в химическом составе растворов, насыщающих илы, а затем и во взаимосвязанной с ними озерной воде. При этом в иловых растворах происходит накопление одних веществ и удаление в осадок других. Выпадают из раствора такие труднорастворимые соединения, как углекислый кальций и магний, углекислосое и сернистое железо. Выпадение в осадок солей приводит к сдвигу ионного равновесия, в результате чего снова изменяется состав илового раствора.

По вертикальному разрезу озерных отложений солевой состав илового раствора неоднороден, что связано с различной интенсивностью биохимических процессов и с перемещением ионов.

Для примера рассмотрим изменения химического состава илового раствора по глубине донных отложений в бессточном развивающемся термокарстовом озере Хатчах (№ 295) с площадью зеркала 100х150 м, глубиной 3 м, расположенном на правобережной Абалахской террасе. В середине апреля 1965 г. по разрезу донных отложений этого озе-

ра (до глубины 90 см) было отобрано 5 проб ила с помощью специально сконструированного пробоотборника. Иловые растворы для анализа выделялись из образцов центрифугированием и вытеснением спиртом по методике, описанной Н.А.Комаровой (1956).

Полученные данные свидетельствуют о том, что минерализация илового раствора до глубины 60 см возрастает от 1,1 до 1,5 г/л, а глубже — понижается (табл. 21).

Сульфаты, содержащиеся в воде озера, в иловом растворе верхних слоев донных отложений (до глубины 30 см) отсутствуют, что является результатом десульфатизации.

В плотных слоях ила (на глубине 30-60 см), где условия для жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий неблагоприятны, происходит накопление сульфатов (0,20-0,25 г/л).

Диффузионный обмен ионами иловых растворов с озерной водой приводит к повышению в иловом растворе концентрации хлоридов, а в составе озерной воды — гидрокарбонатов (особенно в придонных слоях).

На глубине 60 см, где донные отложения представлены сильнозавиленным песком, сульфаты в иловом растворе снова исчезают, что, вероятно, связано с водородной десульфатизацией. Это предположение подтверждается довольно резким увеличением на указанной глубине щелочности растворов. На глубине 75-90 см минерализация раствора понижается еще больше за счет выпадения из раствора карбонатов и гидрокарбонатов кальция и магния. В результате жесткость раствора уменьшается с 23,4 (глубина 75 см) до 16,6 мг.экв (глубина 90 см).

Приведенные данные иллюстрируют явную зависимость химического состава иловых растворов от биохимических процессов, протекающих в илах, в результате которых увеличивается общая щелочность илового раствора и взаимодействующей с ним озерной воды.

Определенное значение в обогащении озерных вод гидрокарбонатами кальция, магния и натрия имеют также надмерзлотные воды, образующиеся при таянии жильных льдов на прибортовых участках, и процессы испарения, под влиянием которых происходит повышение минерализации воды в замкнутых термокарстовых озерах.

В зрелых термокарстовых озерах, в которых объем воды в процессе испарения уменьшается в 1,5-2 раза, минерализация изменяется от 1,5 до 3,5 г/л (см. табл. 20). Несмотря на то что с повышением минерализации повышается и щелочность воды, в ионном составе преобладают гидрокарбонаты магния, обуславливающие высокую жесткость воды (даже при значительном содержании гидрокарбонатов натрия). Сульфаты в таких озерах обычно отсутствуют.

Т а б л и ц а 21

Химический состав иловых растворов и озерной воды

Озеро	Глубина отбора пробы, см	Дата	Сумма минеральных веществ, г/л	Содержание ионов (в числителе - мг/л, в знаменателе - мг.экв)								
				Ca	Mg	Na+K	HCO ₃	CO ₃	SO ₄	Cl	Na Cl	Ca Mg
Оз.Хатчах, озерная вода	100	15/IV 1965	2,14	<u>128,9</u> 6,48	<u>348,6</u> 28,26	<u>215,8</u> 9,89	<u>2012,0</u> 32,98	Нет	<u>216,0</u> 4,50	<u>234,3</u> 6,61	1,4	0,2
Оз.Хатчах, иловый раствор	15-30	То же	1,13	<u>78,1</u> 3,90	<u>190,0</u> 15,59	<u>143,1</u> 6,22	<u>846,6</u> 13,88	<u>143,8</u> 4,76	Нет	<u>251,0</u> 7,08	0,9	0,2
То же	30-45	"	1,23	<u>42,1</u> 2,10	<u>176,3</u> 14,50	<u>156,8</u> 6,82	<u>665,0</u> 10,90	<u>59,5</u> 1,98	<u>250,0</u> 5,20	<u>189,0</u> 5,31	1,3	0,1
"	45-60	"	1,50	<u>97,7</u> 4,87	<u>225,0</u> 18,52	<u>159,6</u> 6,94	<u>786,0</u> 12,89	<u>238,0</u> 7,98	<u>200,0</u> 4,20	<u>189,0</u> 5,31	1,3	0,2
"	60-75	"	1,37	<u>39,1</u> 1,95	<u>261,0</u> 21,44	<u>146,2</u> 6,86	<u>1088,5</u> 17,84	<u>238,0</u> 7,98	Нет	<u>141,0</u> 3,97	1,6	0,1
Оз.Сегелей, озерная вода	100	20/IV 1963	3,20	<u>64,5</u> 3,22	<u>260,0</u> 21,36	<u>894,7</u> 38,90	<u>3056,6</u> 50,60	Нет	"	<u>457,0</u> 12,88	3,0	0,1
Оз.Сегелей, иловый раствор	15-30	То же	2,63	<u>78,1</u> 3,90	<u>549,7</u> 45,81	<u>62,6</u> 2,72	<u>786,2</u> 12,89	<u>118,9</u> 3,96	<u>624,0</u> 13,00	<u>801,3</u> 22,57	0,1	0,1
То же	30-45	"	2,30	<u>97,6</u> 4,87	<u>397,5</u> 38,13	<u>134,4</u> 5,84	<u>967,6</u> 15,86	Нет	<u>748,8</u> 15,60	<u>439,9</u> 12,39	0,5	0,1
Оз.Усун-Эбз, озерная вода	100	18/IV 1963	0,57	<u>68,3</u> 3,41	<u>86,2</u> 7,09	<u>71,1</u> 3,09	<u>793,0</u> 13,00	"	Нет	<u>20,8</u> 0,59	5,0	0,5
Оз.Усун-Эбз, иловый раствор	30-45	18/IV 1963	1,07	<u>68,4</u> 3,41	<u>125,0</u> 10,23	<u>193,1</u> 8,40	<u>846,6</u> 13,88	<u>178,5</u> 5,95	Нет	<u>78,5</u> 2,21	4,0	0,3
То же	45-60	То же	0,43	<u>58,6</u> 2,92	<u>94,8</u> 7,80	<u>62,7</u> 2,73	<u>604,7</u> 9,91	<u>59,5</u> 1,98	"	<u>55,0</u> 1,55	1,8	0,4
"	60-75	"	0,90	<u>35,2</u> 1,75	<u>96,0</u> 7,89	<u>129,5</u> 5,68	<u>254,0</u> 4,16	Нет	<u>446,4</u> 9,3	<u>65,9</u> 1,86	3,0	0,2
"	75-90	"	0,69	<u>78,1</u> 3,90	<u>94,8</u> 7,80	<u>22,2</u> 0,97	<u>241,8</u> 3,96	"	<u>270,0</u> 5,6	<u>109,8</u> 3,10	0,3	0,5
Оз.Хатилима, озерная вода	100	20/IV 1958	2,14	<u>88,7</u> 4,38	<u>343,8</u> 28,28	<u>304,9</u> 13,11	<u>2586,4</u> 42,42	"	Нет	<u>3,15</u> 8,15	4,1	0,1
Оз.Хатилима, иловый раствор	15-30	То же	1,84	<u>87,9</u> 4,38	<u>314,0</u> 25,83	<u>220,5</u> 9,59	<u>1572,8</u> 25,78	<u>356,9</u> 11,90	"	<u>75,4</u> 2,13	4,5	0,2
То же	30-45	"	1,68	<u>97,7</u> 4,87	<u>225,0</u> 18,52	<u>275,7</u> 11,99	<u>1390,9</u> 22,80	<u>297,4</u> 9,91	"	<u>94,3</u> 2,66	4,5	0,2
"	45-60	"	1,46	<u>78,1</u> 3,90	<u>214,0</u> 17,54	<u>219,1</u> 9,53	<u>1632,8</u> 26,77	<u>59,5</u> 1,98	"	<u>78,6</u> 2,22	4,3	0,2
"	60-75	"	1,22	<u>58,6</u> 2,92	<u>166,0</u> 13,64	<u>204,5</u> 8,89	<u>1148,9</u> 18,84	<u>118,9</u> 3,96	"	<u>94,3</u> 2,66	3,3	0,2
"	75-90	"	1,45	<u>97,7</u> 4,87	<u>131,0</u> 10,72	<u>313,4</u> 13,63	<u>907,0</u> 14,87	<u>298,0</u> 9,91	"	<u>157,0</u> 4,43	3,0	0,4
"	90-105	"	1,21	<u>39,1</u> 1,95	<u>119,0</u> 9,75	<u>222,6</u> 9,68	<u>484,0</u> 7,98	<u>59,5</u> 1,98	<u>464,9</u> 9,68	<u>62,9</u> 1,77	5,0	0,2
"	105-120	"	0,33	<u>19,5</u> 0,97	<u>71,1</u> 5,85	<u>20,7</u> 0,90	<u>363,0</u> 5,95	Нет	Нет	<u>62,9</u> 1,77	0,5	0,16

Озеро	Глубина отбора пробы, см	Дата	Сумма минеральных веществ, г/л	Содержание ионов (в числителе - мг/л, в знаменателе - мг.экв)								
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na+K ⁺	HCO ₃ [']	CO ₃ [']	SO ₄ ^{''}	Cl [']	Na Cl	Ca Mg
Оз. Ухумас, озерная вода	100	2/IV 1965	0,66	<u>92,8</u> 4,68	<u>88,7</u> 7,29	<u>49,6</u> 2,16	<u>848,8</u> 13,83	Нет	Нет	<u>8,7</u> 0,24	9,0	0,6
Оз. Ухумас, иловый раствор	15-30	То же	0,54	<u>58,6</u> 2,92	<u>94,6</u> 7,80	<u>22,2</u> 0,97	<u>605,0</u> 9,91	"	"	<u>62,9</u> 1,77	0,5	0,3
То же	30-45	"	0,42	<u>68,4</u> 3,41	<u>47,4</u> 3,90	<u>32,3</u> 1,40	<u>422,3</u> 6,94	"	"	<u>62,9</u> 1,77	0,8	0,8
"	45-60	"	0,34	<u>46,9</u> 2,34	<u>57,5</u> 4,73	<u>6,7</u> 0,29	<u>348,0</u> 5,70	<u>29,8</u> 0,99	"	<u>28,6</u> 0,66	0,4	0,5
"	60-75	"	0,25	<u>34,2</u> 1,71	<u>26,7</u> 2,19	<u>28,2</u> 1,28	<u>272,0</u> 4,46	Нет	"	<u>28,6</u> 0,66	1,8	0,7
"	75-90	"	0,44	<u>58,6</u> 2,92	<u>49,8</u> 4,09	<u>46,5</u> 2,02	<u>484,0</u> 7,93	"	"	<u>39,3</u> 1,11	1,8	0,6
"	90-105	"	0,46	<u>39,1</u> 1,95	<u>47,4</u> 3,90	<u>48,5</u> 2,10	<u>121,0</u> 1,98	"	<u>20,0</u> 4,20	<u>62,9</u> 1,77	1,2	0,5

При дальнейшем уменьшении объема воды в озере, когда начинает обсыхать часть днища и появляются большие по площади мелководные участки, важную роль в изменении состава воды начинают играть физико-химические процессы, происходящие при промерзании.

Значительное повышение минерализации воды при промерзании на мелководных участках приводит к выпадению в осадок плохо растворимых карбонатов и гидрокарбонатов кальция и магния, которые после таяния льда переходят обратно в раствор неполностью. Гидрокарбонаты натрия, захваченные льдом при промерзании озер, после таяния вновь возвращаются в воду. Как видно из данных химических анализов озерного льда, приведенных в табл. 22, концентрация солей по разрезу льда, образующегося при постепенном промерзании воды, неодинакова. Поверхностные слои, промерзающие наиболее быстро, содержат больше солей, чем глубжезалегающие, промерзающие медленнее под влиянием тепла, выделяющегося при фазовых переходах воды в лед.

В озерах, промерзающих до дна (оз. Сергелях), концентрация солей в нижних (придонных) слоях льда, образующихся при кристаллизации более минерализованной воды, несколько повышается. Однако большая часть солей при промерзании воды отжимается в талые донные отложения, в которых карбонаты кальция и магния выпадают в осадок. Поэтому в сравнительно небольших по площади полностью промерзающих озерах минерализация воды обычно не превышает 1-1,5 г/л, в ее солевом составе преобладают гидрокарбонаты магния и натрия.

В больших по площади термокарстовых озерах, имеющих приток солей с поверхностными, а иногда и с подземными водами, минерализация воды достигает значительных величин. Метаморфизация воды в них также связана с осаждением плохо растворимых солей и с вторичными обменно-адсорбционными процессами между водой и донными отложениями. Для примера можно назвать оз. Б.Тюнгюлю размером 4 x 10 км, глубина которого в процессе усыхания с 1932 по 1957 г. уменьшилась с 7 до 1-3 м. В настоящее время озеро разобрано на два водоема: западный под названием Б.Тюнгюлю и восточный - Сегелей. За 25 лет минерализация воды в оз. Тюнгюлю увеличилась с 1 до 2,1 г/л, а гидрокарбонатный магниевый состав изменился на хлоридно-гидрокарбонатный натриевый. За это время содержание карбонатов кальция понизилось в 5 раз, а карбонатов магния, наоборот, повысилось в 1,5 раза, хлоридов натрия - в 1,5 и гидрокарбонатов натрия - в 2,5 раза. Отношение $\frac{Na}{Cl}$ возросло с 2,2 до 3,0 в связи с повышением концентрации гидрокарбонатов натрия (см. табл. 20).

Химический состав льда озер Центральной Якутии

Озеро	Время отбора пробы	Глубина, м	Сумма минеральных веществ, г/л	Содержание ионов, мг. экв			
				Ca	Mg	Na+K	HCO ₃
Круглое, вода	III, 1966	1,0	1,96	3,99	7,04	21,10	6,24
То же, лед	То же	0-0,1	0,34	0,61	1,82	3,30	1,10
" "	"	0,1-0,2	0,16	0,39	0,88	1,48	0,68
" "	"	0,2-0,3	0,17	0,47	0,97	1,54	0,78
" "	"	0,3-0,4	0,18	0,45	1,11	1,55	0,83
" "	"	0,4-0,5	0,22	0,56	1,24	1,88	0,86
" "	"	0,5-0,6	0,14	0,33	0,59	1,45	0,55
" "	"	0,6-0,7	0,10	0,26	0,48	1,10	0,41
Твас-Квель, вода 9/IV 1963		1,0	1,50	2,34	10,70	17,40	27,00
То же, лед	"	0-0,1	0,03	0,07	0,10	0,45	0,40
" "	"	0,2-0,3	0,01	0,07	Нет	0,13	0,10
" "	"	0,5-0,6	0,02	0,07	"	0,23	0,20
Иваново, вода	III, 1966	0,9	0,32	2,83	2,73	0,92	5,03
То же, лед	То же	0-0,3	0,01	0,03	0,04	0,15	0,15
" "	"	0,3-0,6	0,007	0,02	Нет	0,13	0,11
" "	"	0,6-0,8	0,007	0,02	0,02	0,11	0,11
Сергелях, лед	III, 1963	0-0,1	0,01	0,13	Нет	0,16	0,20
То же "	То же	0,1-0,2	0,01	0,07	"	0,18	0,16
" "	"	0,2-0,3	0,01	0,07	"	0,18	0,16
" "	"	0,3-0,4	0,01	0,07	"	0,18	0,16
" "	"	0,4-0,6	0,05	0,25	0,18	0,45	0,70
" "	"	0,6-0,7	0,09	0,85	0,25	0,62	1,36

Гипотетический солевой состав, мг. экв									
CO ₃	SO ₄	Cl	Ca(HCO ₃) ₂	CaCO ₃	MgSO ₄	Mg(HCO ₃) ₂	NaHCO ₃	Na ₂ SO ₄	NaCl
1,56	16,43	7,91	4,8	3,2	6,4	8,0	-	26,4	15,8
0,13	2,61	1,91	1,0	0,2	2,4	1,2	-	2,8	3,8
Нет	1,25	0,81	0,8	-	1,2	0,6	-	1,3	1,6
"	1,34	0,86	0,9	-	1,3	0,6	-	1,3	1,2
"	1,43	0,85	0,9	-	1,4	0,8	-	1,4	1,7
"	2,02	0,80	1,1	-	1,9	0,6	-	2,2	1,6
"	1,20	0,63	0,6	-	0,8	0,4	-	1,6	1,4
"	0,94	0,40	0,6	-	0,4	0,4	-	1,4	0,8
"	Нет	3,40	4,6	-	-	20,0	28,0	-	6,8
"	"	0,12	0,1	-	-	0,2	0,7	-	0,2
"	"	0,10	0,1	-	-	-	0,1	-	0,2
"	"	0,10	0,1	-	-	-	0,2	-	0,2
"	0,12	1,33	5,6	-	0,2	4,4	-	-	1,8
"	Нет	0,07	0,1	-	-	0,1	0,2	-	0,1
"	"	0,03	0,04	-	-	-	0,2	-	0,1
"	"	0,03	0,04	-	-	0,04	0,1	-	0,1
"	"	0,09	0,3	-	-	-	0,1	-	0,2
"	"	0,09	0,1	-	-	-	0,2	-	0,2
"	"	0,09	0,1	-	-	-	0,2	-	0,2
"	"	0,09	0,1	-	-	-	0,2	-	0,2
"	"	0,18	0,5	-	-	0,4	0,5	-	0,3
"	"	0,36	1,7	-	-	0,5	0,5	-	0,7

Иловый раствор оз.Сегелей (восточный водоем) имеет сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридный состав, тогда как озерная вода - гидрокарбонатный магниевый-натриевый (см. табл. 21). Сульфаты, появляющиеся в результате разложения органических веществ в верхних слоях илов, на данной стадии развития озера, по-видимому, полностью подвергаются сульфатредукции. Это может быть вызвано ухудшением условий жизнедеятельности сульфатредуцирующих микроорганизмов в связи с повышенной минерализацией иловых растворов и значительным охлаждением в зимний период верхних слоев донных отложений и озерной воды (до $-0,2^{\circ}$ у дна).

Отношение $\frac{Na}{Cl}$ в иловом растворе верхних, более рыхлых слоев донных отложений (глубина 15-30 см) меньше, чем более плотных, глубже расположенных (глубина 45 см), что свидетельствует о протекающих в них обменно-адсорбционных процессах. Главной причиной сдвига равновесия между озерной водой и иловым раствором в зимний период, в результате которого происходят обменные реакции, является повышение минерализации озерной воды при ледообразовании, особенно интенсивное на мелководных участках.

Повышение минерализации иловых растворов сопровождается выпадением в осадок плохо растворимых гидрокарбонатов кальция (частично магния), что приводит к относительному повышению содержания натрия, который, переходя в обменное состояние, вытесняет в раствор обменные кальций и магний. В результате состав илового раствора изменяется: содержание магния увеличивается, а натрия уменьшается.

В верхнем слое ила оз.Сегелей до глубины приблизительно 30 см преобладают хлориды магния при повышенном содержании сульфатов и гидрокарбонатов магния. В более плотном слое ила на глубине 30-45 см концентрация хлоридов магния ниже и преобладают сульфаты магния. В глубже расположенных слоях, имеющих температуру $3-5^{\circ}$, за счет десульфатизации концентрация сульфатов понижается, а щелочность повышается. В водонасыщенных заиленных суглинках на глубине 2 м сульфаты отсутствуют, солевой состав представлен гидрокарбонатами натрия, кальция и магния.

За счет обменных реакций с иловым раствором в озерной воде повышается концентрация гидрокарбонатов и хлоридов натрия и магния.

Можно полагать, что по описанному пути метаморфизации происходило изменение состава воды и в другом усыхающем термокарстовом озере Итик-Кюель (№ 244), в котором за 20 лет (1939-1959 гг.) минерализация воды возросла в 1,5 раза (см. табл. 20). При этом в воде понизилось содержание кальция, магния и гидрокарбонатов, оп-

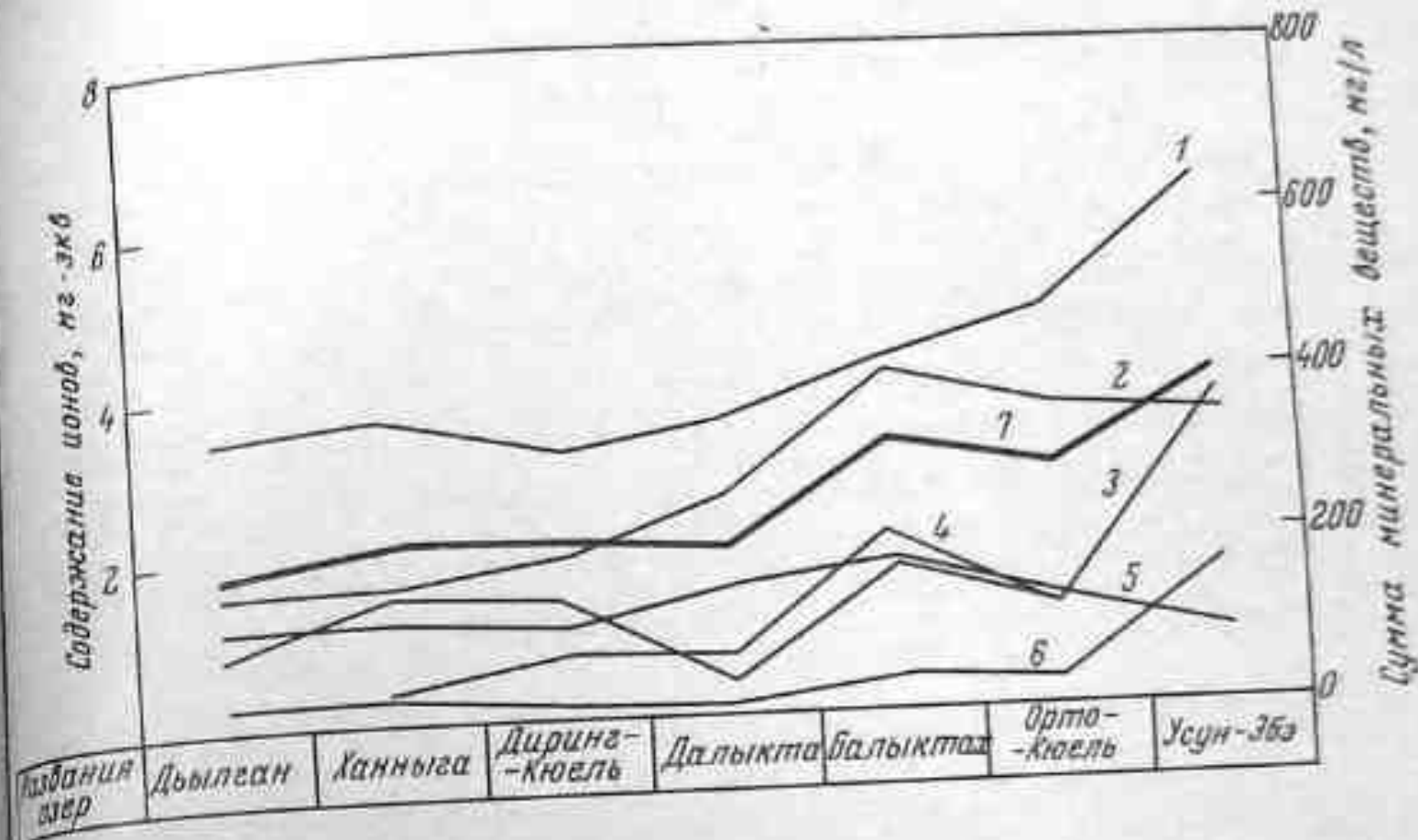


Рис. 32. Изменение химического состава воды озер, находящихся в эрозионно-термокарстовой долине на правом берегу р.Лены (сток происходит от оз.Дыылган по направлению к оз. Усун-Збэ)

1 - HCO_3^- ; 2 - Mg^{++} ; 3 - Na^+ ; 4 - CO_3^{--} ; 5 - Ca^{++} ; 6 - Cl^- ;
7 - сумма минеральных веществ

ределивших снижение жесткости, но возросло содержание карбонатов и хлоридов натрия. Преобладающими солями в воде в 1939 г. были гидрокарбонаты натрия, а с 1959 г. - карбонаты натрия при высоком содержании гидрокарбонатов и хлоридов натрия.

Такой же состав имеет сравнительно небольшое по площади оз. Лечебное (№ 246), находящееся вблизи оз. Итик-Кюель (см.табл.20). Еще большее изменение состава произошло в остаточном мелководном (0,5-0,8 м) озере Туустах (№ 258), находящемся в крупном аласе. Преобладающие соли в озере в настоящее время - хлориды натрия при высоком содержании гидрокарбонатов и карбонатов магния и натрия. Минерализация воды в нем летом 3 г/л.

Высокую минерализацию воды имеют также известные в литературе содовые минеральные озера Абалах, Тураннах, Намы (Егоров, 1942). Состав воды озер на протяжении их развития претерпел указанные выше изменения. В оз.Тураннах за 28 лет минерализация воды повысилась более чем в 5 раз (см.табл.20). Преобладающую роль в составе солей стали играть не гидрокарбонаты, а карбонаты натрия, и значительно возросло содержание хлоридов натрия. Интересен

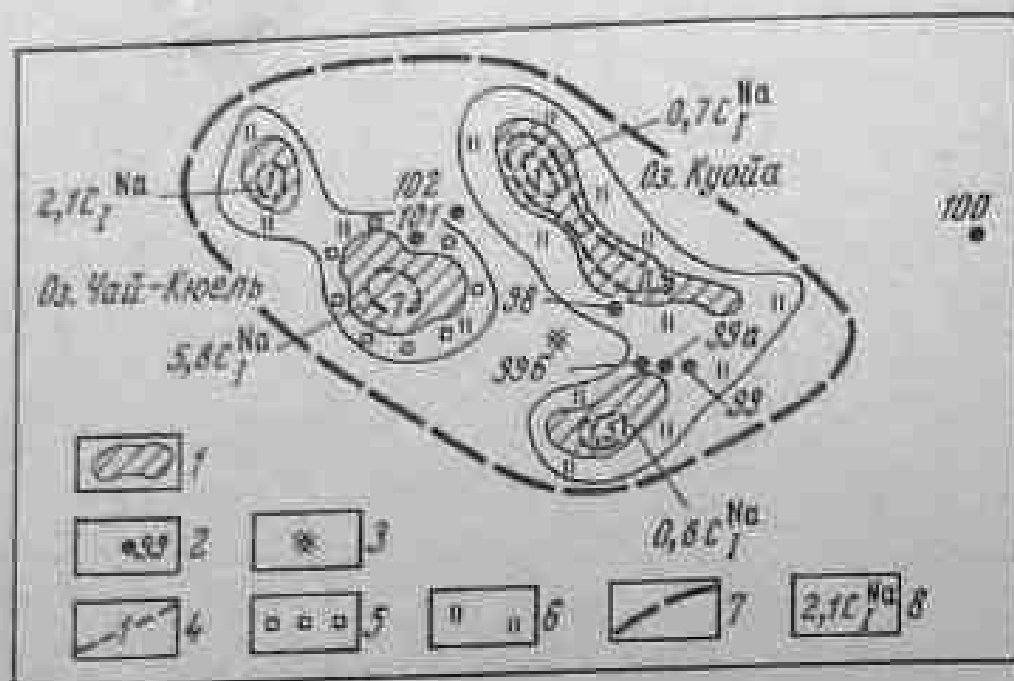


Рис. 33. Схема расположения скважин на Бестяхской террасе, в районе озер Куойа и Чай-Кюель

1 - озеро; 2 - скважина и ее номер; 3 - шурф; 4 - глубина озера; 5 - плитки солей; 6 - луг; 7 - предполагаемая первоначальная граница озера; 8 - формула химического состава воды, по О.А.Алекину

факт накопления в озере сульфатов натрия. Это подтверждает предположение о том, что с обмелением озера и повышением минерализации воды в нем жизнедеятельность сульфатредуцирующих микроорганизмов в интенсивно охлаждающихся донных отложениях прекращается. В результате сульфаты, поступающие с поверхностными водами и образующиеся при распаде органического вещества, накапливаются в иловых растворах, откуда диффундируют в озерную воду. Такое накопление сульфатов характерно и для многих термокарстовых озер левобережья, например оз. Прохладного (№ 31), оз. Амбардах (№ 78) и др.

Однако глубокая метаморфизация воды термокарстовых озер - явление сравнительно редкое и наблюдается, как мы уже указывали, при усыхании больших по площади озер, в прошлом имевших значительный приток поверхностных вод.

В большинстве же небольших термокарстовых озер приток питающих атмосферных вод настолько мал, что не обеспечивает существование постоянного водоема. В таких котловинах после полного высыхания первоначального озера, образовавшегося в период протавивания льдов, периодически накапливается тот или иной объем атмосферных вод. Такие мелководные "вторичные" озера то появляются (в более дождливые годы), то снова через некоторый промежуток

времени высыхают (Соловьев, 1959). Минерализация воды в них обычно не превышает 1 г/л.

Наименьшую минерализацию имеют сточные или проточные термокарстовые озера, находящиеся в эрозионно-термокарстовых долинах. Сток из озер происходит либо только на ранней стадии их развития и с понижением уровня воды в озера прекращается, либо ежегодно в весенний период и после продолжительных дождей во второй половине лета. Спуск воды из озера сопровождается понижением минерализации воды в оставшемся водоеме за счет разбавления небольшого объема воды слабоминерализованными водами атмосферных осадков.

Минерализация воды в озерах, расположенных в эрозионно-термокарстовых долинах, колеблется от 0,1 до 0,4 г/л и зависит от степени их проточности (см. табл. 20). Из цепи проточных озер, расположенных в эрозионно-термокарстовых долинах, менее минерализованы (0,1-0,2 г/л) озера, находящиеся в верховьях долин (рис. 32). В средней их части, где сток из озер менее интенсивен, сумма солей повышается до 0,3 г/л. Замыкающие озера в низовьях долин обычно имеют значительную площадь и более высокую минерализацию воды, зависящую от величины испаряющей поверхности, количества приносимых с поверхностными водами солей и от продолжительности периода "бессточности".

В конечных бессточных или полусточных озерах происходит постепенное увеличение минерализации воды и изменение ее солевого состава, тогда как в воде проточных озер даже на протяжении большого промежутка времени не наблюдается значительных изменений (см. табл. 20, оз. Нол-Тунгюль). Несмотря на то что концентрация иловых растворов в донных отложениях проточных озер ниже, чем бессточных, направленность процессов в них аналогичная, как это видно из данных химических анализов илового раствора оз. Усун-Эбе, расположенного в эрозионно-термокарстовой долине (см. табл. 21). Молодость верхнего слоя рыхлого, разжиженного ила в этом озере больше, чем в молодых термокарстовых озерах, что благоприятно для жизнедеятельности сульфатредуцирующих микроорганизмов. Поэтому сульфаты в иловом растворе этого слоя отсутствуют, щелочность и содержание в нем гидрокарбонатов натрия по сравнению с глубже расположенными слоями несколько повышены (отношение $\frac{Na}{Cl}$ равно 4). На глубине 45-60 см отношение $\frac{Na}{Cl}$ снижается до 2, что свидетельствует о происходящих там обменно-адсорбционных процессах. В более плотных слоях ила на глубине 60-75 см, где условия для жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий неблагоприятны, в иловом растворе отмечается некоторое накопление сульфатов натрия

и магния. За счет диффузионного перемещения ионов состав илового раствора в глубжеразположенных слоях изменяется. В подстилающих заиленных супесях сульфатов нет.

Состав и минерализация иловых растворов и воды в озерах, расположенных в эрозионно-термокарстовых долинах, в значительной степени зависят от периодического изменения их водного режима. В засушливые годы озера могут утратить свою проточность, и с уменьшением объема воды происходит концентрирование в ней солей. В годы с повышенным количеством атмосферных осадков они снова могут превратиться в проточные, и минерализация озерной воды и иловых растворов снова понижается. Такие изменения в гидрологическом и гидрохимическом режиме проточных озер на протяжении истории их развития происходят многократно.

Озера эрозионного происхождения, находящиеся на первой, второй, третьей и четвертой надпойменных террасах р. Лены, отличаются от термокарстовых по условиям питания и водообмена.

Основной источник солей в озерах песчаных террас — атмосферные осадки, надмерзлотные и поверхностные воды, с которыми в них приносятся гидрокарбонаты кальция, магния, натрия и хлориды натрия. Чем больше водосборная площадь озер, тем больше поступает солей.

Концентрирование и изменение солевого состава воды этих озер, так же как и термокарстовых, происходит под влиянием процессов испарения и промерзания, ионного обмена с иловыми растворами и т.д.

Несмотря на то что водосборную площадь озер Бестяхской террасы составляют весьма слабозасоленные песчаные отложения, минерализация их воды изменяется в довольно широких пределах: от 0,03 до 8,5 г/л (табл. 23).

По преобладающему аниону озера Бестяхской террасы относятся к гидрокарбонатным (карбонатным). Катионный состав их по мере повышения минерализации изменяется от кальциевого через магниевый до натриевого.

Наименьшую минерализацию воды (ниже 0,1 г/л) имеют сравнительно небольшие по площади озера, а также сточные. В солевом составе их преобладают гидрокарбонаты кальция и магния, но даже в таких весьма слабоминерализованных озерных водах содержатся гидрокарбонаты натрия. Отношение $\frac{Na}{Ca}$ в них изменяется от 1,1 до 3. Чем больше площадь зеркала озер, тем это отношение выше.

Минерализацию от 0,1 до 0,2 г/л имеют более глубокие сточные или временно проточные озера с площадью от 0,04 до 2 км².

В воде этих озер также преобладают гидрокарбонаты щелочных земель (см. табл. 23). Содержание гидрокарбонатов натрия в них более высоко: отношение $\frac{Na}{Cl}$ изменяется от 3 до 6. Величина этого отношения в водах сточных озер повышается по мере продвижения от южной части района на север: оз. Хаха — 1,1, оз. Дьяптада — 3,3, оз. Эмис-Кюель — 5,5, оз. Арга-Кубалах — 6.

Минерализацию от 0,2 до 1,0 г/л имеют озера, расположенные в долинообразных понижениях Бестяхской террасы, в настоящий период утратившие проточность (например, оз. Белейкен, № 225, оз. Дяби-те, № 117, оз. Абага, № 226, оз. Хотун-Манчия, № 223). Состав воды этих озер в основном определяется гидрокарбонатами и карбонатами магния и натрия. Отношение $\frac{Na}{Cl}$ в них изменяется от 5 до 8 и тем выше, чем больше площадь зеркала. Содержание гидрокарбонатов натрия в таких озерах достигает 20 мг. экв.

В озерах с минерализацией воды более 1 г/л преобладающими становятся гидрокарбонаты натрия при высоком содержании гидрокарбонатов и карбонатов магния (см. табл. 23). Отношение $\frac{Na}{Cl}$ в них колеблется от 5 до 9. Содержание гидрокарбонатов натрия повышается до 45 мг. экв., а концентрация кальция снижается, вплоть до полного его исчезновения (аналитический нуль).

Одно из озер Бестяхской террасы, оз. Чай-Кюель (№ 227), имеет минерализацию воды около 10 г/л, карбонатный и гидрокарбонатный натриевый состав. Сравнительно большая глубина озера (7–8 м) и высокая минерализация воды затрудняют перемешивание, поэтому наблюдается расслоение ее по удельному весу. В сентябре в центральной части озера минерализация воды в поверхностных слоях равна 5,3 г/л, на глубине 3 м — 8,6 г/л, а на глубине 7 м — 9,9 г/л. Отношение $\frac{Na}{Cl}$ по вертикальному разрезу озера изменяется мало — от 4 до 4,9.

Сравнительно небольшие размеры современной котловины озера (0,45 x 0,7 км) и ее водосборной площади наводили некоторых исследователей на мысль об участии в формировании химического состава его воды восходящих подмерзлотных вод коренных пород (Кондаков, 1928; Егоров, 1942).

В работах А.И. Ефимова (1946–1950) вслед за Н.И. Семеновичем (1935) приводятся данные, свидетельствующие о поверхностном питании озер Лено-Амгинского междуречья. Наши детальные исследования химического состава пород, составляющих котловины и водосборные площади озер, и состава питающих вод, а также изучение процессов, происходящих в озерах и их донных отложениях, подтверждают для большинства озер, в том числе и для оз. Чай-Кюель, континентальный тип засоления.

Озеро	Дата отбора пробы	pH	Сумма минеральных веществ, г/л	Содержание ионов, мг.экв								Na Cl	Ca Mg
				Ca ⁺⁺	Mg	Na+K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁺⁺	SO ₄ ⁺⁺	Cl ⁻			
Боровое	8/VI 1958	Не опр.	0,07	0,77	0,53	0,10	1,30	Нет	Нет	0,10		1,0	1,4
Харарбыт	31/У 1963	То же	0,06	0,19	1,04	0,18	1,09	"	"	0,32		0,6	0,2
Боровое I	8/VI 1958	"	0,03	0,19	0,39	0,02	0,50	"	"	0,10		0,2	0,5
Хатахай	13/VI 1958	7,5	0,09	0,68	1,01	0,31	1,90	"	"	0,10		3,0	0,7
Илин-Кубалах	13/У 1963	7,4	0,08	0,66	0,66	0,40	1,59	"	"	0,14		2,9	1,0
Чуотту	10/УП 1963	7,3	0,09	0,57	0,89	0,51	1,79	"	"	0,18		2,5	0,6
Малое	25/УП 1963	7,2	0,10	0,68	1,26	0,19	1,99	"	"	0,14		1,3	0,5
Лесничье	25/УП 1963	7,2	0,10	0,57	0,57	0,78	1,69	"	"	0,23		4,0	1,0
Дьогудей	13/VI 1958	7,2	0,16	1,45	1,64	0,30	2,70	0,60	"	0,10		3,0	0,8
Кюбедики	24/VI 1963	7,5	0,13	0,97	1,15	0,64	2,19	0,39	"	0,18		3,0	0,8
Тойон-Кюель	4/УП 1963	7,6	0,15	1,07	2,10	0,22	1,95	1,26	"	0,18		1,1	0,5
Тонгус-Кюель	23/VI 1958	7,4	0,15	1,30	1,69	0,21	3,15	Нет	"	0,10		2,6	0,8
Дьалтада	22/УП 1959	7,2	0,18	0,91	1,68	0,95	2,92	0,52	"	0,28		3,3	0,5
Улахан-Тентгютте	7/УП 1958	7,4	0,16	0,97	1,11	1,24	3,05	Нет	"	0,26		4,0	0,9
Эмис-Кюель	4/УП 1958	7,4	0,17	1,07	1,36	1,13	2,79	0,39	"	0,18		5,5	0,8
Арга-Кубалах	13/У 1963	7,2	0,19	1,33	1,43	1,21	3,79	Нет	"	0,18		6,0	0,9
Гинюр	10/УП 1963	7,6	0,21	1,39	1,40	1,46	2,78	1,19	"	0,28		5,0	1,0
Озерко в 3 км от оз. Бистте	10/УП 1963	7,6	0,22	0,98	1,30	2,17	3,49	0,59	Нет	0,37		5,5	0,7
Заячье	26/VI 1963	7,8	0,36	1,36	4,00	1,82	3,89	1,39	1,62	0,28		6,0	0,3
Белыйкен	13/УП 1963	8,4	0,60	0,93	5,81	5,66	7,36	4,38	Нет	0,66		8,1	0,2
Абага	5/УП 1963	8,2	0,48	0,93	5,11	4,07	5,57	3,98	"	0,56		6,6	0,2
Сыттынах	13/УП 1963	8,0	0,44	1,11	4,14	3,92	5,37	3,18	"	0,62		6,5	0,3
Хотун-Манчия	5/УП 1963	8,2	0,44	0,84	5,34	3,24	4,58	4,38	"	0,46		6,4	0,2
Бычакхайн	10/УП 1963	8,4	1,00	0,89	10,89	9,06	9,58	9,42	"	1,84		5,0	0,1
Дьобиге	10/УП 1963	8,4	0,76	0,48	8,32	7,17	9,58	5,19	"	1,20		6,0	0,0
Берейи	4/УП 1963	8,4	0,10	0,48	8,74	10,72	10,38	7,98	"	1,58		6,7	0,0
Дьундугу	4/УП 1963	8,3	0,73	0,68	5,27	8,83	7,47	5,71	"	1,60		5,5	0,1
Таас-Кюель, гл. 0,5 м	29/VI 1963	8,4	1,21	0,48	11,03	13,36	10,78	11,58	"	2,51		5,3	0,04
То же, гл. 4,5 м	29/VI 1963	8,4	1,65	0,48	14,53	18,56	13,37	16,67	"	3,53		5,3	0,03
Кумах-Кюель	4/УП 1963	8,4	1,13	0,29	9,66	13,17	11,28	9,98	"	1,86		6,9	0,03
Гинюр	14/УП 1962	8,4	1,35	Нет	12,69	14,76	21,66	3,65	0,42	1,72		8,7	-
Чай-Кюель, гл. 3 м	1/УП 1963	8,4	8,59	0,14	12,37	146,68	52,73	73,63	Нет	32,83		4,5	0,01

Основываясь на данных мерзлотно-гидрогеологических исследований, проведенных в районе озер Чай-Кюель и Куойа, можно предположить, что четыре близко расположенных друг от друга озера (два водоема Чай-Кюель и два водоема Куойа) в прошлом имели единую котловину, разобившуюся в результате обсыхания и задувания золотыми песками (рис. 33).

Это подтверждается наличием в разрезе многолетнемерзлых пород на межозерных перемычках (под золотыми песками) озерных отложений с остатками водной растительности, а под многолетнемерзлыми отложениями мощностью до 20 м — водоносного талика, соединяющего талики под сохранившимися озерами.

При промерзании водоносных пород на обсыхающих частях котловины большая часть солей из них мигрирует в талик. Жесткая вода с минерализацией более 1 г/л из промерзающих верхних слоев талика поступает в озера. Возможность подтока таких вод в озера тем больше, чем они глубже. Из названных четырех водоемов три мелко-водные (0,5–1,5 м) и лишь оз. Чай-Кюель (восточное) глубиной до 8 м. Подток жестких вод со стороны обсохших промерзающих участков котловины повышает содержание гидрокарбонатов кальция и магния в озерной воде.

О высоком содержании гидрокарбонатов кальция и магния в воде оз. Чай-Кюель в прошлом можно судить по стяжениям-плиткам, покрывающим обсохшую часть дна котловины, состоящим в основном из карбонатов кальция и магния, осаждение которых, по-видимому, происходило при промерзании воды на обмелевших участках озера (солинокислая вытяжка, %):

Полуторные окислы ...	1,4	CaO	14,4
SiO ₂	2,9	CO ₂	17,9
MgO	11,5	Песок	52,7

При этом легкорастворимые соли — гидрокарбонаты и хлориды натрия — оставались в воде и мигрировали в более глубокие, не промерзающие до дна участки озера. Щелочность воды постепенно повышалась. Поскольку предел растворимости гидрокарбонатов (карбонатов) магния выше, чем гидрокарбонатов кальция, то и содержание их выше. Бикарбонатная форма соды с увеличением минерализации воды в озере переходит в монокarbonатную.

Таким образом, в оз. Чай-Кюель, так же как и в наиболее минерализованных термокарстовых озерах, эволюция состава воды в процессе повышения ее минерализации проходила по известным законам карбонатных равновесий и в соответствии с различной растворимостью солей CaCO₃, MgCO₃, Na₂CO₃. По мере увеличения ми-

нерализации воды менее растворимая соль подавляется более растворимой.

Подобным же путем, возможно, формируется состав воды и в некоторых других глубоких озерах Бестяхской террасы.

Зависимость концентрации отдельных ионов от общей минерализации воды озер Бестяхской террасы показана на рис. 34.

Из приведенных графиков видно, что ход изменения концентрации главных ионов с ростом минерализации воды в эрозионных озерах Бестяхской террасы такой же, как и в термокарстовых. Отличие заключается лишь в интенсивности повышения концентрации гидрокарбонатов натрия и магния. В озерах Бестяхской террасы уже при минерализации 0,8 г/л содержание натрия выше, чем магния, тогда как в термокарстовых озерах гидрокарбонаты и карбонаты натрия преобладают лишь при минерализации выше 2,5–3 г/л.

Таким образом, при одной и той же минерализации воды натриевая щелочность эрозионных озер Бестяхской террасы значительно выше, чем термокарстовых. В бессульфатных озерах это наглядно иллюстрирует величина отношения $\frac{Na}{Cl}$ (табл. 24).

Содержание хлоридов при одной и той же минерализации воды выше в термокарстовых озерах, чем в эрозионных. В оз. Тураннах при минерализации воды более 24 г/л они преобладают (см. табл. 20).

Эрозионных озер с сульфатным составом воды в пределах Бестяхской террасы не встречено. Это объясняется отсутствием этих солей в породах, слагающих водосборную площадь озер. Сульфаты биогенного происхождения в донных отложениях озер подвергаются десульфатизации, о чем свидетельствуют результаты химических анализов иловых растворов озер Ухумас и Хатылыма (см. табл. 21). Некоторое накопление сульфатов происходит лишь в донных отложениях солончатых озер, в которых, как уже указывалось, жизнедеятельность сульфатредуцирующих микроорганизмов подавляется высокой минерализацией воды и низкой температурой донных отложений зимой. Для примера приводим результаты анализа ила оз. Чай-Кюель, отобранного в апреле 1955 г. А.И.Ефимовым (табл. 25).

Состав большинства эрозионных озер левобережных низких террас сходен с составом наводковых вод: преобладают гидрокарбонаты кальция и магния, а также содержатся хлориды магния (табл. 26).

В питании старичных озер, расположенных у подножия Бестяхской террасы, принимают участие подземные воды четвертичных отложений, разгружающиеся либо у основания террасы, либо непосредственно в озерные котловины. В результате этого в составе озерных вод появляются гидрокарбонаты натрия. Таковы, например, озера Келеяге (№ 224), Мандай (№ 222), Сылбар и др.

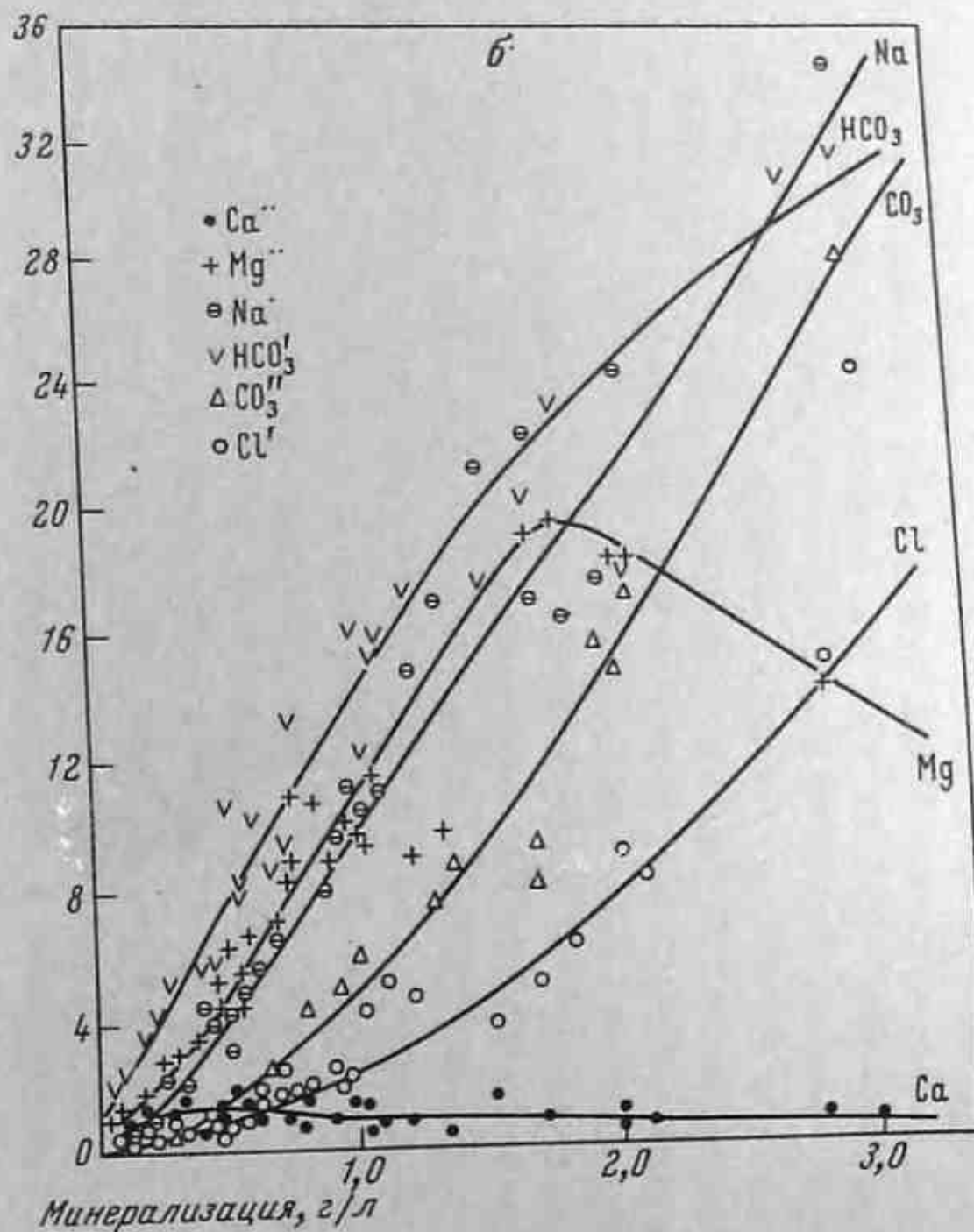
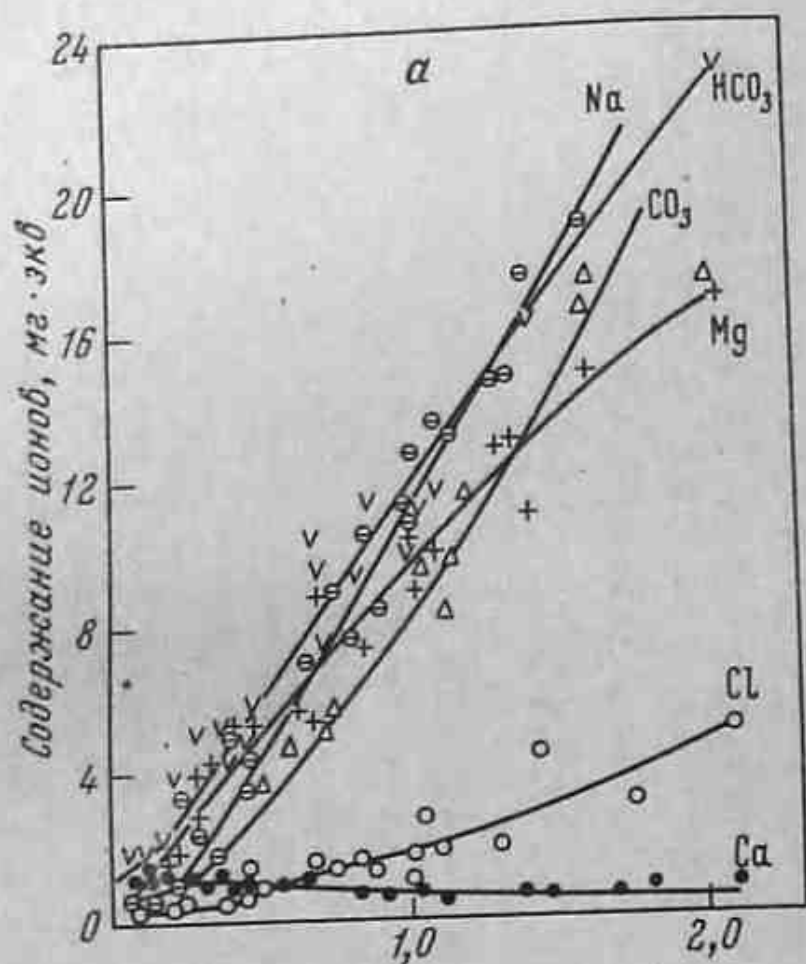


Рис. 34. Зависимость ионного состава воды от минерализации
а - в озерах Бестяхской террасы; б - в озерах Тынгулюнской террасы

Т а б л и ц а 24

Изменение величины $\frac{Na}{Cl}$ в озерах разного генезиса

Эрозионные озера Бестяхской террасы	Сумма минеральных веществ, г/л	$\frac{Na}{Cl}$	Термокарстовые озера аласных террас	Сумма минеральных веществ, г/л	$\frac{Na}{Cl}$
Арга-Кубалах	0,2	6,0	Марата	0,2	4,0
Абага	0,5	6,9	Диринг-Кюель	0,5	4,2
Берейи	0,9	6,7	Около пос. Абалах	0,9	2,9
Таас-Кюель	1,6	5,3	Беджелет	1,8	3,9
Чай-Кюель	4,7	4,1	Тураннах	4,6	2,7

Т а б л и ц а 25

Химический состав раствора из ила оз. Чай-Кюель
12 апреля 1955 г. (Бахман, Ефимов, 1962)

Компонент, содержащийся в 1 л раствора		Единицы измерения		
		г	мг. экв	% мг. экв
Аммоний	NH_4^+	0,01	0,55	0,43
Натрий	Na^+	2,44	105,93	85,96
Калий	K^+	0,31	7,93	6,44
Магний	Mg^{++}	0,10	8,51	6,91
Кальций	Ca^{++}	0,01	0,37	0,26
Железо	Fe^{++}		Не обнаружено	
Карбонат	CO_3^{--}	1,08	36,13	29,27
Гидрокарбонат	HCO_3^-	3,06	50,18	40,72
Сульфат	SO_4^{--}	0,28	5,82	4,72
Хлор	Cl^-	1,10	31,13	25,27
Сухой остаток при 105°		8,12	-	-
pH		9,1	-	-
Окисляемость в мг кислорода		312,2	-	-

Т а б л и ц а 26

Химический состав воды озер низких террас р. Лены

Озеро	Дата отбора пробы	рН	Сумма минеральных веществ, г/л	Содержание ионов, мг. экв								
				Ca	Mg	Na+K	HCO ₃ ^I	CO ₃ ^{II}	SO ₄ ^{II}	Cl ^I	Na/Cl	Ca/Mg
Левый берег р. Лены												
Ченке	4/XII 1951	Не опр.	0,10	1,39	0,60	0,18	2,10	Нет	Нет	0,08	2,0	2,3
Хатын-Урях	18/УП 1965	7,5	0,64	8,48	5,42	3,24	6,34	"	2,90	2,91	1,1	0,6
Аэродромное	17/УП 1954	Не опр.	0,63	2,01	3,75	6,25	4,91	"	Нет	7,11	0,8	0,5
Белое	17/УП 1960	То же	0,44	1,88	2,21	1,95	4,25	"	0,24	1,55	1,2	0,8
Купальное	16/УІ 1954	"	0,24	1,10	1,65	1,78	2,90	"	0,95	0,68	2,6	0,6
Ой-Бэс	16/УІ 1965	7,8	0,77	4,26	4,65	4,52	3,77	"	5,70	3,95	1,1	0,9
Тектор	10/УШ 1965	7,2	0,13	1,66	1,06	1,64	1,91	"	0,52	1,91	0,8	1,5
Правый берег р. Лены												
Мачарлах	5/X 1951	7,1	0,16	1,78	1,13	0,36	2,70	Нет	Нет	0,56	0,6	1,5
Келенге	31/УП 1963	7,2	0,10	0,88	0,42	0,65	1,39	"	"	0,56	1,0	2,0
Мандай I	3/УП 1963	7,1	0,08	0,65	0,46	0,54	1,19	"	"	0,46	1,0	1,4
Мандай II	3/УП 1963	7,6	0,19	1,85	1,25	1,29	1,69	0,99	"	1,21	1,0	1,0
Сылбар	3/УП 1963	7,4	0,18	1,39	1,03	1,13	2,58	Нет	"	0,97	1,0	1,3
Суола-Терде	10/ІУ 1964	7,4	0,18	1,71	1,30	0,67	2,67	"	"	1,01	0,7	1,3
Кердуген	11/УІ 1963	7,4	0,14	1,14	1,05	0,41	1,19	"	0,39	1,02	0,4	1,0
Павловское	10/УШ 1963	7,5	0,28	3,07	0,65	1,62	3,58	"	Нет	1,76	0,9	4,7
Лавый	12/УП 1959	7,3	0,21	1,98	1,89	0,60	4,21	"	"	0,26	2,0	1,0

На левобережье в питании многих озер, наряду с паводковыми водами р. Лены, принимают участие воды мелких речек, стекающих с древней аллювиальной равнины. Значительную роль в формировании химического состава озерных вод там играют широко распространенные засоленные почвы (сульфатные и хлоридные солончаки). Их влияние наиболее заметно в старичных озерах, редко заливаемых паводковыми водами. В воде таких озер повышено содержание сульфатов и хлоридов, вплоть до преобладающего их значения (например, в озерах Ой-Бас, Аэродромном).

Поскольку в годы с особо высоким уровнем паводковых вод такие озера промываются речной водой, минерализация воды в них, даже при сульфатном и хлоридном составе, не превышает 1 г/л.

Повышенную минерализацию (до 1-2 г/л) имеют лишь отдельные непроточные озера, находящиеся на первой надпойменной террасе в черте г. Якутска и близлежащих населенных пунктов. Большинство же озер низких террас проточно, и минерализация их изменяется от 0,1 до 0,5 г/л.

В воде многих пойменных озер левобережья и в озерах, расположенных на островах, наряду с гидрокарбонатами щелочных земель, содержатся хлориды магния, приносимые с паводковыми водами р. Лены.

Из приведенной характеристики химического состава озерных вод, в непосредственном взаимодействии с которыми находятся воды подозерных таликов, видно, что наиболее устойчивыми во времени по составу и минерализации являются озера, постоянно или временно проточные. Среди них - озера, находящиеся в современной долине р. Лены и ее притоков, а также в эрозионно-термокарстовых и эрозионных долинообразных понижениях высоких террас р. Лены и аллювиальной равнины.

Минерализация воды большинства таких озер не превышает 0,2-0,3 г/л, редко достигая 0,5-0,6 г/л (на левобережных низких террасах). Состав воды в озерах на высоких террасах гидрокарбонатный кальциево-магниевый, на низких - чаще гидрокарбонатный кальциевый с повышенным содержанием хлоридов и сульфатов, реже - хлоридно-гидрокарбонатный магниевый-кальциевый. Для озер низких террас правого берега р. Лены характерно полное отсутствие сульфатов. Воды здесь мягкие и умеренно жесткие.

Минерализация большинства озер песчаной Бестяхской террасы изменяется от 0,1 до 2,0 г/л. Поскольку главное значение в питании этих озер имеют надмерзлотные воды, минерализация озер определяется величиной водосборной площади и испаряющей поверхности зеркала воды. Состав воды гидрокарбонатный. В катионном составе

при минерализации до 0,2 г/л преобладают магний и кальций, при минерализации от 0,2 до 1,0 г/л — магний и натрий, выше 1,0 г/л — натрий. Характерно полное отсутствие сульфатов и весьма малое содержание кальция и хлоридов. При минерализации 0,5 г/л воды озера мягкие, 0,5–1,0 г/л — жесткие, выше 1,0 г/л — очень жесткие. Жесткость в основном определяется гидрокарбонатами магния, которые в водах с повышенной щелочностью значительно устойчивее гидрокарбонатов кальция.

Минерализация большинства термокарстовых озер изменяется от 0,5 до 2,0 г/л, химический состав — гидрокарбонатный магниевый и магниевый-натриевый, с повышенным содержанием в некоторых озерах сульфатов (на левобережье р. Лены) и хлоридов (на правобережье). По мере усыхания озер в их воде возрастает содержание гидрокарбонатов (карбонатов), хлоридов и натрия. Наиболее высокое содержание кальция и магния отмечается в молодых и зрелых озерах, а наиболее низкое — в усыхающих. Сульфаты содержатся в усыхающих сильно обмелевших озерах, а также в озерах, образовавшихся при протавивании пород ледового комплекса, залегающих на неогеновых песках, содержащих сульфаты.

Концентрация ионов аммония, являющихся продуктом распада органических веществ, особенно велика в озерах у дна, где она зимой достигает 4–10 мг/л, летом понижается до 0,1–1,5 мг/л.

Содержание железа в озерах в течение года также изменяется. Осенью все железо из водной массы выпадает в осадок. В донных отложениях оно переходит в закисную форму и частично диффундирует в воду. В анаэробных условиях придонных слоев железо находится в виде закисных углекислых соединений и иногда достигает повышенных концентраций (2–7 мг/л). В слоях, обогащенных кислородом, соединения железа вновь окисляются и выпадают из раствора в виде гидратов окиси. Зимой в озерной воде обнаруживается как закисное, так и окисное железо (не более 0,5 мг/л).

Из микроэлементов в озерных водах встречаются в небольших количествах йод и фтор. Содержание йода обычно не превышает 0,2 мг/л. Содержание фтора в небольших озерах менее 1 мг/л, а в значительных по площади, имеющих щелочную воду, достигает 1–1,5 мг/л (озера Дьибиге, Кыдбайы, Таас-Кюель и др.).

Г л а в а IУ

ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ В ТАЛИКАХ

При формировании химического состава подземных вод таликов большое значение имеют протекающие в них сложные физико-химические, геохимические и биохимические процессы, определяющие концентрирование солей, поступающих в талики из пород и с питающими водами, изменение их состава и перераспределение по разрезу. При этом важную роль играют процессы испарения и вымораживания растворов, катионный обмен, десульфатизация, растворимость солей и гравитационная дифференциация воды.

В таликах разного происхождения роль этих факторов в формировании солевого состава вод неодинакова.

В подрусловых таликах, сложенных хорошо фильтрующими песчано-гравелистыми русловыми отложениями, химический состав воды сходен с речным и соответственно с ним несколько изменяется на протяжении года, особенно в верхних слоях (табл. 27).

Под обмелевшими и обсохшими участками русел малых рек минерализация воды в верхних слоях таликов зимой повышается за счет солей, мигрирующих из промерзающих слоев пород. В конце зимы в подрусловом талике р. Таммы минерализация воды в верхних слоях на границе с промерзающими породами (глубина 3 м) составляет 0,24 г/л, а вниз по разрезу понижается до 0,20 г/л (глубина 13 м). Ионный состав ее такой же, как в реке, — гидрокарбонатный кальциево-магниевый.

В присклоновых таликах химический состав воды сходен с составом вод сезоннотальных слоев, а иногда и разгружающихся в них вод подозерных таликов. Минерализация и ионный состав воды в присклоновых таликах несколько изменяются на протяжении года за счет изменения состава питающих вод, процессов катионного обмена и отжатия солей при частичном промерзании таликов, а также изменения условий циркуляции и разгрузки вод. Зимой, с образованием наледи и промерзанием сезоннотальных слоев, выход вод из присклоновых таликов на поверхность затрудняется либо прекращается. В результате в условиях ледяного режима повышается общая минерализация воды и относи-

тельное содержание в ней гидрокарбонатов натрия. В апреле-мае, с возобновлением интенсивной разгрузки, минерализация и содержание гидрокарбонатов натрия в воде понижаются. Такая закономерность изменения минерализации и состава воды наиболее характерна для сезонно действующих источников, через которые в весенне-летне-осенний период происходит разгрузка на поверхность вод приклонных таликов Бестяхской террасы, питающихся надмерзлотными водами.

В маломощных приклонных таликах озерных котловин изменения минерализации и солевого состава воды, связанные с промерзанием, еще более существенны. Так, в приклонном талике оз. Хатылына минерализация воды в конце зимнего периода возрастает в 1,5-2 раза, в ее составе появляются сульфаты натрия и магния.

Наиболее сложны процессы формирования химического состава подземных вод в подозерных таликах. В таликах под озерами эрозионного и термокарстового происхождения, отличающихся друг от друга по геологическому строению, по условиям питания, водообмена и промерзания, эти процессы имеют некоторые особенности.

В таликах под озерами эрозионного происхождения первоначальный химический состав воды сходен с составом подрусловых вод. Ее минерализация не превышает 0,5 г/л, в солевом составе преобладают гидрокарбонаты кальция и магния.

В таликах под термокарстовыми озерами на ранней стадии их образования минерализация воды зависит не только от концентрации солей и мощности льдовмещающей породы, но в значительной степени и от объема льда в ней. Чем выше льдонасыщенность породы, тем ниже минерализация образующейся воды, и наоборот.

При протаивании льдовмещающих песков и супесей сравнительно небольшой мощности (до 10 м) минерализация воды на первых этапах развития таликов не превышает 0,5 г/л. В солевом составе преобладают гидрокарбонаты щелочных земель. Такие талики встречаются в южной части района, особенно на левобережных высоких террасах в окрестностях поселков Булгунняхтах, Бестях, на междуречье Савабит-Аллах и др.

В северо-восточных районах при протаивании более обогащенных растворимыми солями льдовмещающих озерно-аллювиальных суглинков мощностью до 20-30 м минерализация воды в таликах уже в начальный период достигает 1-1,5 г/л, за счет гидрокарбонатов щелочных земель, сульфатов и хлоридов натрия.

Наряду с указанными солями, определяющими содержание основных шести компонентов ионного состава, в воду из протаивающих пород переходят также микроэлементы, органические вещества, кремний,

железо и аммоний. В восстановительных анаэробных условиях таликов находятся в виде растворимых соединений (углекислородное железо, аммоний и т.д.).

Дальнейшие изменения минерализации и химического состава воды подозерных таликов в значительной степени зависят от условий питания и водообмена, от изменения состава взаимосвязанных с ними озерных вод и иловых растворов, от интенсивности испарения воды и промерзания таликов и т.д.

Концентрирование растворенных солей в водах подозерных таликов

Несмотря на незначительную первоначальную минерализацию воды таликов под озерами эрозионного происхождения, в дальнейшем в них могут интенсивно накапливаться соли, приносимые с питающими надмерзлотными водами. Наиболее велика роль надмерзлотных вод в питании таликов под озерами Бестяхской террасы, водосборная площадь которых сложена песками, значительно меньше - таликов под озерами низких террас, где она сложена сравнительно плоховодопроницаемыми суглинками и супесями. В питании таликов под озерами термокарстового происхождения роль надмерзлотных вод незначительна.

Несмотря на то что солевой состав озерных вод имеет весьма существенное значение при формировании состава подземных вод таликов, непосредственная связь этих вод, разделенных слоями плохородопроницаемых илов, затруднена. Более благоприятные условия для их взаимосвязи имеются в котловинах эрозионного происхождения, сложенных песком. На Бестяхской террасе, на обмелевших участках таких озер, илы либо отсутствуют, либо представлены весьма маломощными слоями. Поэтому зимой соли из промерзающей озерной воды мигрируют в талик. Чем шире полоса мелководной отмели в озерах, тем больше солей из озерной воды зимой попадает в талик. На участках, не промерзающих до дна, ионный обмен между озерной водой, иловым раствором и водой подозерного талика происходит диффузионным путем. Поскольку передвижение ионов происходит в сторону меньшей концентрации, повышение минерализации озерной воды и илового раствора влечет ее увеличение и в воде подозерного талика.

Некоторое концентрирование солей в воде талика происходит при ее испарении на плоских недавно обсохших участках дна озерных котловин, на которых еще не началось образование многолетнемерзлых пород.

Критическая глубина залегания грунтовых вод, при которой в результате испарения начинается их засоление, рассчитанная по методике, предложенной В.А.Ковда (1947), равна около 90 см. Реально же на находящихся у озер участках глубина залегания вод подозерных таликов не превышает 50 см. Однако в связи с небольшой шириной капиллярной каймы и довольно глубоким сезонным промерзанием пород (2-2,5 м) роль процессов испарения в повышении минерализации воды в таликах в общем невелика.

Определенное значение в концентрировании и изменении состава солей в верхних слоях таликов имеет транспирация воды влаголюбивыми растениями. Наиболее распространены осока и камыш, заросли которых иногда полностью покрывают мелководные участки озер. На прибортовых частях озерных котловин, где благодаря стекающим надмерзлотным водам новообразование многолетнемерзлых пород задерживается, влагу транспирируют также ива и береза.

По данным В.А.Приклонского (1948), растениями испаряется больше влаги, чем со свободной водной поверхности. При этом в связи с избирательным поглощением растениями калия и кальция их концентрация в водах таликов понижается, что влечет за собой повышение относительного содержания натрия.

Весьма существенное значение в повышении минерализации и изменении состава воды в таликах имеют физико-химические процессы, происходящие при их промерзании.

При промерзании водонасыщенных пород часть растворенных солей и органические вещества мигрируют в талик. Поэтому на контакте с мерзлыми породами вода всегда имеет более высокую минерализацию, чем в глубжезалегающих слоях. Это подтверждается многочисленными химическими анализами проб воды, отобранных в верхних слоях таликов на контакте с многолетнемерзлыми и сезонномерзлыми породами (табл. 28).

При промерзании замкнутых таликов сверху и снизу минерализация воды увеличивается как у верхней, так и у нижней границы с многолетнемерзлыми породами. Это видно, например, из данных химических анализов воды промерзающего замкнутого талика в котловине оз. Уудегедики (табл. 29).

На обсохших участках котловины, сложенных песком, где многолетнемерзлых пород еще нет, зимой минерализация воды в талике на границе с промерзающими породами повышается, а летом снова понижается за счет инфильтрации слабоминерализованных атмосферных осадков. Характер изменения минерализации воды в таликах на таких участках в конце зимнего периода иллюстрируют данные анализов по скв. 18, 21 (табл. 30), а после протаивания сезонномерзлого слоя

данные анализов по скв. 101, 99, 86 в котловинах озер Чай-Кюэль, Чойа и Дярама.

Минерализация воды в талике возрастает тем интенсивнее, чем на большей площади озерной котловины происходит его промерзание, тем выше минерализация воды и больше площадь мелководных участков самого озера.

Под влиянием указанных процессов испарения, транспирации и промерзания минерализация воды повышается, главным образом, в верхних слоях таликов. Передвижение солей в глубже расположенные слои происходит под влиянием конвекционного перемешивания и диффузии.

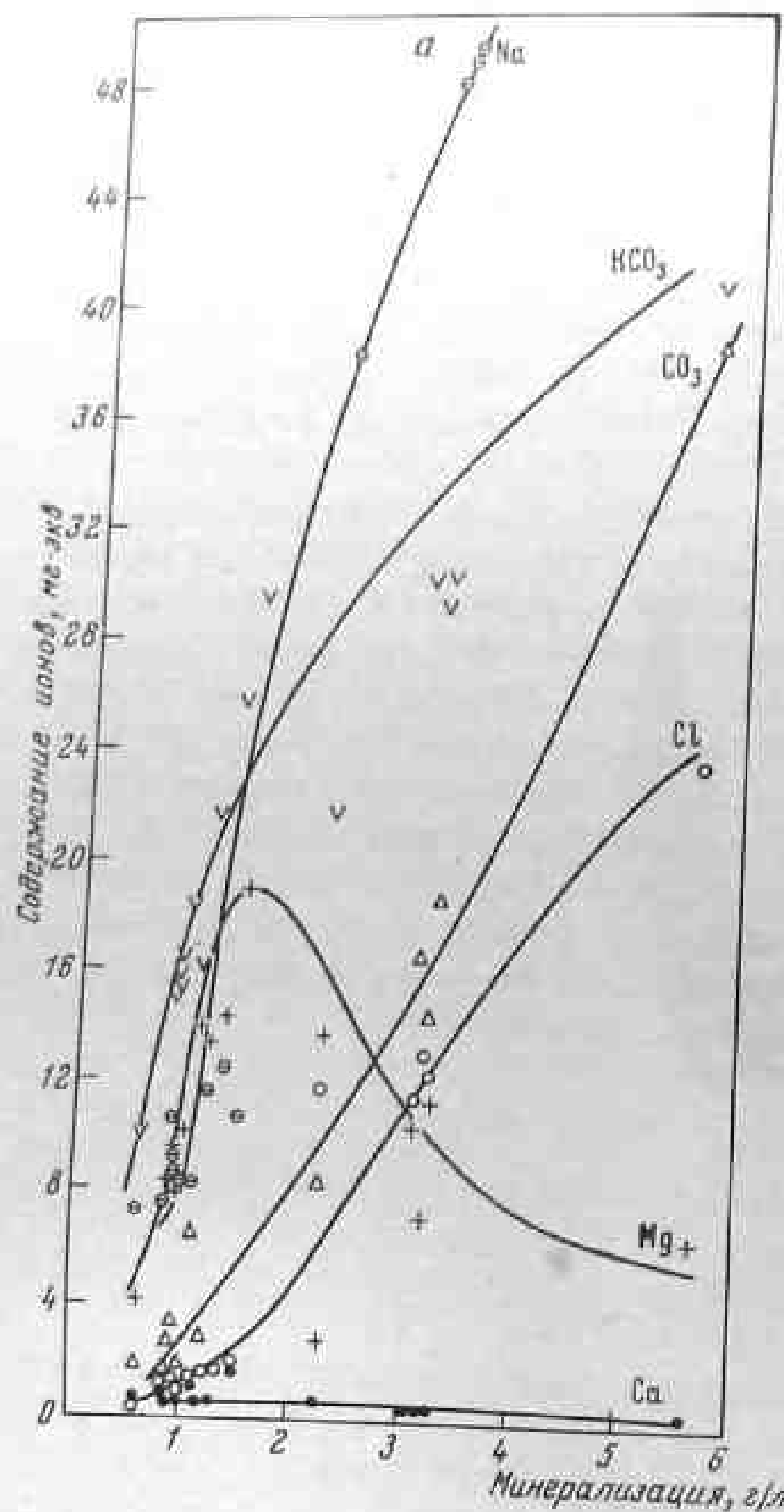
При наличии подземного стока из таликов большого накопления солей в водах не происходит. Благоприятные условия для такого интенсивного водообмена имеются в таликах под озерами, находящимися в древних эрозионных понижениях на правобережной Бестяхской террасе, воды которых, двигаясь по соединяющим их под- или меж-мерзлотным таликам, разгружаются в долинах рек Таммы, Менды, Илахан-Тарын и др., а также в сквозных водопоглощающих подозерных таликах, в которых хорошеводопроницаемые четвертичные отложения подстилаются трещиноватыми известняками среднего кембрия. В последнем относится талик под оз. Хаха, в котором минерализация воды и температура пород (около $+5^{\circ}\text{C}$) почти не изменяются по вертикальному разрезу (табл. 30, скв. 153).

Изменения химического состава воды таликов

В замкнутых и непроточных таликах в процессе концентрирования растворенных солей происходит изменение их состава, связанное с выпадением отдельных солей в осадок, а также с обменно-адсорбционными и биохимическими процессами.

Значение биохимических процессов в изменении солевого состава воды наиболее велико в верхних подозерных слоях таликов, где за счет процессов десульфатизации исчезают сульфаты, повышается щелочность раствора и выпадают в осадок карбонаты кальция и магния. Выше уже указывалось, что интенсивность этих процессов зависит от температуры, фильтрационных свойств породы и минерализация воды. В заиленных песках при прочих равных условиях они протекают интенсивнее, чем в суглинках.

В таликах под обмелевшими озерами, в которых зимой вода и донные отложения промерзают, десульфатизация прекращается. То же отмечается и в сильно охлаждающихся донных отложениях высокоминерализованных озер. Сульфаты, накапливающиеся в иловых растворах таких озер, постепенно диффундируют и в воду подозерного талика (например, под озерами Сегелей и Прохладным).



• Ca^{++}
 + Mg^{++}
 • Na^{+}
 ∇ HCO_3^{-}
 $\triangle$ CO_3^{--}
 • Cl^{-}

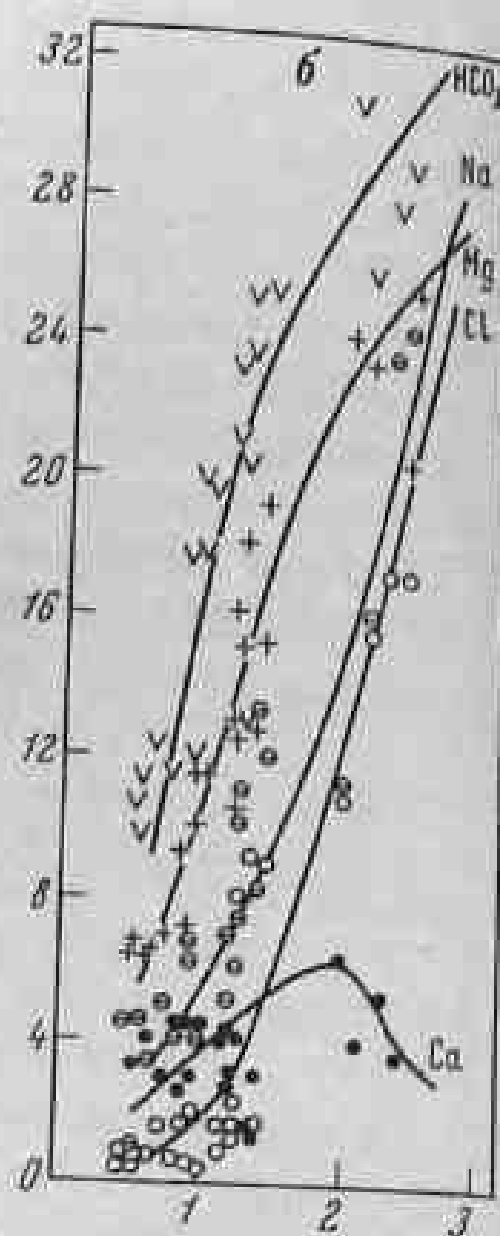


Рис. 35. Зависимость ионного состава воды подозерных таликов от степени ее минерализации
 а - на Бестяхской террасе; б - на Тынгулянской террасе

Среди солей, мигрирующих в талик при промерзании воды и дождевых отложений озер на мелководных участках, обычно преобладают гидрокарбонаты магния, так как натрий в большей степени, чем другие катионы, захватывается льдом при промерзании озерной воды и задерживается в обменном комплексе ила, а кальций при увеличении минерализации промерзающей воды частично выпадает в осадок в виде карбоната.

Преобладание ионов магния среди катионов в воде верхних слоев таликов на границе с промерзающими породами на обсохших частях и на озерных котловинах также связано с катионным обменом.

Согласно И.А.Тютюнову (1962), при переходе температуры пород от положительной к отрицательной обычный ход процесса поглощения катионов $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^{+}$ меняется на обратный, т.е. при промерзании водонасыщенных пород усиливается поглощение породой натрия из равновесного раствора. Ионы натрия, переходя в поглощенное состояние, вытесняют из обменного комплекса ионы кальция и магния. Поскольку кальций в составе карбоната частично выпадает в осадок, в растворе накапливаются более растворимые гидрокарбонаты магния. Итак, в верхних слоях талика под озером и под обсохшей частью котловины с увеличением минерализации воды, наряду с хорошо мигрирующими хлоридами, повышается содержание гидрокарбонатов магния и натрия. При промерзании таликов под сульфатсодержащими озерами в их воде повышается концентрация сульфатов. В воде верхних слоев таликов под озерами Хомустах (№ 33) и Амбардах (№ 78) сульфаты преобладают.

Изменение абсолютного и относительного содержания отдельных ингредиентов солевого состава воды подозерных таликов в зависимости от степени ее минерализации показано на рис. 35.

Ионы гидрокарбонатов для большинства подозерных таликов являются главными. Их накопление определяет "щелочной резерв" растворов.

Как видно из графика, наиболее интенсивный рост концентрации гидрокарбонатов в воде таликов происходит до минерализации 2 г/л, когда их содержание достигает 30 мг.экв.

В водах с минерализацией более 1 г/л наряду с гидрокарбонатами содержатся карбонаты. При минерализации более 5 г/л их концентрация близка к концентрации гидрокарбонатов или выше нее (содовые воды).

Повышенное количество ионов сульфатов в водах подозерных таликов встречается сравнительно редко. Как уже указывалось, их накопление возможно в промерзающих таликах под некоторыми обме-

левшими озерами, а также в таликах, сложенных сульфатсодержащими неогеновыми породами. Такие талики чаще встречаются на левобережных низких и высоких террасах, на аллювиальной равнине и на правобережной Абалахской террасе. В таликах с минерализацией воды 3-5 г/л, при сульфатном натриевом или магниевом составе, содержание сульфат-ионов достигает 38-60 мг.экв.

Концентрация ионов хлора в водах подозерных таликов и в озерах примерно одинакова. При минерализации воды ниже 1 г/л она изменяется от 0,1 до 1 мг.экв. С повышением минерализации воды более 1 г/л в подозерных таликах Бестяхской и Тунгюльонской террас концентрация ионов хлора возрастает различно. В таликах Бестяхской террасы ионы хлора накапливаются медленно и при минерализации воды 5-6 г/л их содержание достигает 25 мг.экв, тогда как в таликах под термокарстовыми озерами Тунгюльонской и Абалахской террас такая концентрация хлор-ионов отмечается уже при минерализации воды 2,5-3 г/л (скв. 94, 127). Это объясняется более высоким содержанием хлоридов в протаивающих льдовмещающих суглинках аласных террас, чем в песках Бестяхской террасы.

Значительное накопление хлоридов происходит также и в изолированных промерзающих таликах на низких террасах, на которых развиты засоленные почво-грунты (например, в талике под оз.Круглым, скв. 22).

Содержание ионов натрия в водах подозерных таликов находится в прямой зависимости от степени минерализации воды.

В таликах под озерами Бестяхской террасы при увеличении минерализации воды концентрация ионов натрия возрастает значительно интенсивнее, чем хлора. Отношение $\frac{Na}{Cl}$ в них изменяется от 3,2 до 7,5. Следовательно, содержание натрия в этих бессульфатных водах в основном связано с гидрокарбонатами.

При минерализации воды 3-5 г/л в таликах под эрозионными озерами Бестяхской террасы содержание гидрокарбонатов натрия значительно выше, чем в таликах под термокарстовыми озерами. В них гидрокарбонаты натрия становятся преобладающими уже при минерализации воды 1,5 г/л.

Концентрация ионов кальция в водах подозерных таликов выше, чем в озерной воде, но также зависит от ее щелочности. В таликах под термокарстовыми озерами содержание кальция достигает максимальной величины (5-7 мг.экв) при минерализации воды 1-2 г/л. В водах с минерализацией более 2 г/л, в которых содержание гидрокарбонатов натрия равно содержанию гидрокарбонатов магния или превышает его, концентрация ионов кальция снижается в связи с выпадением их в осадок в составе карбоната.

Химический состав подземных вод подрусовых и присклоновых таликов

Место отбора пробы	Глубина, м	Дата отбора	Сумма минеральных веществ, г/л	pH	Содержание ионов, мг. экв						
					Ca'	Mg''	Na+K'	HCO ₃ '	CO ₃ ''	SO ₄ ''	Cl'
Воды подрусловых таликов											
Протока р. Лены против г. Якутска	20	3/X 1933	0,53	Не опр.	2,47	1,54	5,77	6,10	Нет	0,71	2,97
Протока р. Лены ниже г. Якутска	5	2/II 1961	0,48	7,8	3,21	3,93	2,32	6,39	1,58	Нет	1,49
Русло р. Лены в районе пос. Покровск	14	19/III 1958	0,44	7,8	2,82	1,98	3,36	3,45	Нет	1,30	3,35
То же	25	2/IV 1958	0,33	7,4	2,64	2,00	1,99	4,40	0,20	0,28	1,65
Русло р. Таммы	3	29/IV 1959	0,24	7,1	2,23	2,62	0,32	4,96	Нет	Нет	0,21
То же	6	29/IV 1959	0,22	7,1	2,04	2,52	Нет	3,97	"	0,41	0,16
"	13	4/V 1959	0,20	7,1	2,22	2,06	"	4,07	"	Нет	0,21
Пойма р. Менды	28-30	17/VIII 1965	0,24	6,8	2,43	2,13	0,42	4,91	"	"	0,07
Воды присклоновых таликов											
Бестяхская терраса в долине р. Лены, ист. Мустах-Тарын	-	24/V 1959	0,09	7,1	0,75	0,82	0,36	1,91	Нет	Нет	0,06
Бестяхская терраса в долине р. Менды	25	9/IX 1965	0,09	7,2	1,05	0,76	0,07	1,77	"	0,06	0,05
Борт оз. Ул-Тевгютте	3,5	8/VI 1958	0,19	7,1	2,66	1,16	0,20	3,85	"	Нет	0,16

Химический состав воды в таликах на границе с меральными породами

Номер сква- жины	Глубина отбора пробы, м	Дата отбора	pH	Сумма мине- ральных веществ, г/л	Содержание ионов				
					мг/л				
					Ca	Mg	Na+K	NH ₄	Fe ²⁺ + Fe ³⁺

Химический состав воды в таликах под

139	4,0	5/у 1958	7,0	0,13	12,4	10,4	27,4	1,3	Нет
	7,0	5/у 1958	7,2	0,13	28,6	14,5	3,0	0,5	0,3
18	1,6	6/у 1960	7,6	0,69	88,3	40,3	124,2	15,2	26,1
	5,0	7/у 1960	7,4	0,60	67,0	38,9	117,2	17,0	5,2

Химический состав воды в таликах на гра

78а	5,7	22/уП 1963	8,0	1,32	26,1	171,0	280,4	8,0	1,8
	10,0	22/уП 1963	8,0	0,88	13,0	109,0	197,6	10,0	0,3
89а	5,0	1/уП 1963	8,0	1,30	70,2	207,0	169,7	5,0	0,5
	6,0	8/уП 1963	8,1	0,88	53,3	95,0	177,8	7,0	0,3
93	5,5	28/у 1963	Не опр.	1,22	78,6	228,0	135,0	5,0	0,3
	8,0	13/уП 1963	То же	0,97	31,3	146,0	110,6	6,0	Нет
21	3,5	4/у 1954	"	3,90	112,2	292,0	972,5	Не опр.	Не опр.
	5,0	5/у 1954	"	2,57	196,4	252,7	595,5	То же	То же

Содержание ионов

Содержание ионов				% мг. экв					
CO ₃	SO ₄	Cl	NO ₂	Ca	Mg	Na+K	HCO ₃	SO ₄	Cl
140,3	Нет	13,0	0,05	23,2	32,0	44,8	86,2	Нет	13,8
128,1	"	23,0	Нет	52,0	43,2	4,8	76,4	"	23,6
151,8	20,3	71,5	"	33,6	25,2	41,2	81,2	3,2	15,6
177,9	20,7	60,5	"	28,8	27,6	43,6	81,7	3,7	14,6

Химический состав воды в таликах под

Химический состав воды в таликах на гра

140,3	Нет	13,0	0,05	23,2	32,0	44,8	86,2	Нет	13,8
128,1	"	23,0	Нет	52,0	43,2	4,8	76,4	"	23,6
151,8	20,3	71,5	"	33,6	25,2	41,2	81,2	3,2	15,6
177,9	20,7	60,5	"	28,8	27,6	43,6	81,7	3,7	14,6
1550,0	Нет	72,4	Нет	4,9	50,9	44,2	92,8	Нет	7,2
1030,0	"	46,1	"	3,6	49,2	47,2	92,8	"	7,2
1570,0	"	72,3	"	12,6	61,2	26,2	92,7	"	7,3
947,2	"	79,1	"	14,6	43,0	42,4	87,8	"	12,2
1504,2	"	137,0	"	13,8	65,6	20,6	86,5	"	13,5
910,0	"	121,0	"	8,5	65,3	26,2	81,3	"	18,7
1863,4	551,3	1059,9	Не опр.	7,0	33,7	59,3	42,4	16,0	41,6
2299,0	20,6	486,5	То же	18,9	40,1	41,0	72,8	0,8	26,4

Т а б л и ц а 29

Изменение химического состава воды в промерзающем талике
в котловине оз.Уу-Дегедики (скв. 78)

Глубина отбора, м	Дата отбора	Сумма ми- неральных веществ, г/л	pH	Содержание ионов (в числителе - мг/л, в знаменателе - мг. экв)									
				Ca'	Mg'	Na+K'	NH ₄ '	Fe''	HCO ₃ '	CO ₃ ''	SO ₄ ''	Cl'	NO ₂ '
5,0	18/УП 1963	1,48	8,0	<u>32,7</u> 1,63	<u>233,0</u> 19,14	<u>244,5</u> 10,63	5,5*	0,3*	<u>1800,0</u> 29,45	Нет	Нет	<u>69,1</u> 1,95	Нет
6,0	То же	1,10	8,2	<u>23,2</u> 1,16	<u>172,0</u> 14,09	<u>190,7</u> 8,29	7,0	Нет	<u>970,0</u> 15,92	<u>191,0</u> 6,37	"	<u>44,3</u> 1,25	"
10,0	"	0,85	8,0	<u>15,3</u> 0,76	<u>114,0</u> 9,34	<u>174,6</u> 7,59	5,5	"	<u>908,0</u> 14,88	<u>50,1</u> 1,67	"	<u>40,4</u> 1,14	"
15,0	"	1,00	7,99	<u>9,8</u> 0,49	<u>126,0</u> 10,35	<u>271,8</u> 8,34	5,5		<u>1115,0</u> 18,30	Нет	"	<u>31,2</u> 0,88	"
17,5	"	1,32	8,0	<u>8,0</u> 0,40	<u>178,0</u> 14,59	<u>286,6</u> 12,46	4,0	"	<u>1580,0</u> 25,87	"	"	<u>56,0</u> 1,58	"
19,5	"	1,23	8,0	<u>7,9</u> 0,39	<u>164,0</u> 13,47	<u>272,1</u> 11,83	4,0	"	<u>1320,0</u> 21,63	<u>75,0</u> 2,50	"	<u>55,3</u> 1,56	"

* Содержание компонента выражено в мг/л.

В щелочных водах подозерных таликов Бестяхской террасы при минерализации от 2 до 3 г/л содержание кальция не превышает 2 мг. экв., при минерализации более 3 г/л снижается до 0,2–0,4 мг. экв.

На границе с промерзающими породами концентрация кальция обычно выше, чем в глубжерасположенных слоях талика, где в более щелочных водах она понижается за счет выпадения карбонатов в осадок.

Концентрация ионов магния при повышении минерализации воды в подозерных таликах Бестяхской террасы и под термокарстовыми озерами изменяется неодинаково, что связано с различной щелочностью этих вод. В первых максимальное содержание магния (18 мг. экв) отмечается при минерализации воды 1,3–1,5 г/л. Затем, когда в воде преобладающими становятся гидрокарбонаты натрия, его концентрация снижается за счет выпадения карбонатов магния в осадок. В таликах под термокарстовыми озерами с повышением минерализации воды интенсивнее возрастает концентрация хлоридов натрия, чем гидрокарбонатов натрия, поэтому содержание магния в этих водах значительно выше: при минерализации 3 г/л оно составляет 28 мг. экв. То же отмечается и в водах сульфатного состава, в которых гидрокарбонаты натрия содержатся в незначительных количествах: при минерализации 3,5–4 г/л концентрация ионов магния в них достигает 25–27 мг. экв (табл. 30, талики под озерами Хомустах, Латорным, Круглым).

Аммонийные ионы поступают в воду подозерных таликов из иловых растворов и из протаивающих пород. В анаэробных условиях ионы NH_4^+ не подвергаются нитрификации, поэтому в водах таликов они содержатся в повышенных количествах – от 2 до 10 мг/л (особенно в верхних слоях под современным озером и на промерзающих участках). Под систематически загрязняющимися озерами вблизи молочнотоварных ферм, колхозных поселков и т.д. содержание NH_4^+ в водах таликов достигает 20–40 мг/л (например, в таликах под озерами Тонгюлю, Ытык-Кюель и под озерами в окрестностях г. Якутска). Повышение концентрации ионов аммония приводит к переходу в воду значительных количеств кремнекислоты и полуторных окислов. Как известно, растворяющая способность воды возрастает даже при незначительном содержании в ней ионов аммония.

В водах подозерных таликов зачастую содержится закисное железо, которое в восстановительной среде весьма устойчиво. Повышенное содержание его (2–5 мг/л) отмечается в таликах под озерами, находящимися на низких террасах р. Лены, в заболоченной полосе у основания 100-метровой террасы – на левом берегу и у основания Бестяхской террасы – на правом. В верхних слоях таликов на контакте с сезоннопромерзающими слоями пород концентрация железа в

воде иногда достигает 26 мг/л (табл. 30, скв. 18, глубина 1,6 м), а вниз по разрезу таликов понижается.

Содержание фтора в водах подозерных таликов изменяется от 0,05 до 0,7 мг/л.

Таким образом, по мере повышения минерализации воды в таликах под озерами разного происхождения концентрация отдельных ионов изменяется неодинаково, что определяет различия в солевом составе этих вод. При минерализации до 1 г/л в солевом составе воды таликов под эрозионными озерами Бестяхской террасы преобладают гидрокарбонаты магния и натрия, а под термокарстовыми — гидрокарбонаты магния. При минерализации от 1 до 2 г/л в первых преобладающими становятся гидрокарбонаты натрия, а во вторых остаются гидрокарбонаты магния при повышенном содержании хлоридов натрия.

В подозерных таликах Бестяхской террасы интенсивнее повышается концентрация карбонатов натрия, а в таликах под термокарстовыми озерами — хлоридов натрия.

Итак, состав воды в подозерных таликах Бестяхской террасы по мере повышения минерализации изменяется до карбонатного натриевого, а в таликах под термокарстовыми озерами — до гидрокарбонатно-хлоридного натриевого. Во многих таликах на левобережье состав воды изменяется до сульфатного магниевых.

В изолированных промерзающих подозерных таликах низких террас с повышением минерализации воды состав ее изменяется от гидрокарбонатного кальциевого до сульфатного и хлоридного магниевых. Последнее возможно на локальных участках распространения сильно засоленных почв (сульфатных и хлоридных солончаков) на левом берегу р. Лени.

В таликах под проточными озерами на всех террасах большого накопления солей не происходит. Состав воды в них гидрокарбонатный кальциево-магниевый с минерализацией менее 1 г/л.

Как уже указывалось, химический состав воды по вертикальному разрезу подозерных таликов изменяется. Повышение минерализации воды в таликах происходит, главным образом, в верхних слоях за счет диффузионного перемещения солей из иловых растворов и особенно за счет отжатия их из промерзающих водонасыщенных пород. Некоторое значение имеет также концентрирование солей, связанное с потерей влаги на испарение и транспирацию.

Перемещение солей из верхних слоев в глубже расположенные происходит под действием диффузии и конвекции. Большое значение при распределении солей по вертикальному разрезу имеют литологический состав слагающих пород, миграционная способность ионов, гравитационная дифференциация воды по удельному весу, температурные

условия и строение озерной котловины, определяющие особенности таяния и промерзания таликов, наличие стока из них и т.д.

Остановимся на примерах наиболее типичных гидрохимических разрезов таликов в зависимости от указанных факторов.

Талики, сложенные однородной толщей сравнительно хорошеводоносимых песков, типичны для низких террас и высокой Бестяхской. В таких таликах большое значение в перемещении растворенных солей по разрезу имеет перемешивание воды под влиянием конвекции, а также гравитационное расслоение. Более высокая минерализация воды за счет солей, поступающих из иловых растворов и промерзающих пород, отмечается в верхних слоях таликов.

В талике, вскрытом под сезонномерзлыми породами на обсохшей части котловины оз. Ытык-Кюель, минерализация воды понижается от 0,7 до 0,4 г/л (табл. 30, скв. 18). При этом в наибольшей степени понижается концентрация гидрокарбонатов кальция и магния, тогда как содержание гидрокарбонатов натрия изменяется незначительно. Поэтому в верхних слоях содержание гидрокарбонатов натрия меньше, чем гидрокарбонатов щелочных земель, а в нижних, на глубине 10–12 м, первые становятся преобладающими среди растворенных солей (рис. 36, а).

Изменение состава и минерализации воды по разрезу промерзающих замкнутых таликов Бестяхской террасы можно представить по данным химических анализов воды талика под оз. Уу-Дегедики (см. табл. 30, скв. 78а). Характер изменения минерализации воды и температуры пород в талике (рис. 36, б) свидетельствует о промерзании талика как сверху, так и снизу. Наименьшая минерализация отмечается в средних слоях, где она не превышает 1 г/л. Преобладающими солями по всему разрезу являются гидрокарбонаты магния при повышенном содержании гидрокарбонатов натрия. Отношение $\frac{Na}{Ca}$ равно 9,9. Концентрация гидрокарбонатов натрия у нижней границы талика с многолетнемерзлыми породами выше, чем у верхней, что, по-видимому, объясняется малым содержанием там илистых частиц, определяющих катионный обмен. В верхних, сильнозамороженных промерзающих слоях пород концентрация натрия в растворе несколько понижается за счет перехода его в обменный комплекс пород. Это подтверждается повышенным содержанием в них кальция, вытесняемого натрием из обменного комплекса. Вниз по вертикальному разрезу талика концентрация кальция понижается: отношение $\frac{Ca}{Mg}$ изменяется от 0,08 до 0,02.

Приведенный пример показывает, что даже на ранних этапах промерзания подозерных таликов сравнительно небольшой мощностью, сложенных песчаными отложениями, минерализация воды в них повышается более 1 г/л, общая жесткость составляет 10–15 мг. экв.

Местонахождение и номер скважины	Глубина отбора пробы, м	Дата отбора	pH	Сумма минеральных веществ, г/л	Содержание ионов					Содержание ионов										
					мг/л					мг. экв										
					Ca	Mg	Na+K	NH ₄	Fe	CO ₃ ^{''}	SO ₄ ^{''}	Cl [']	Ca	Mg	Na+K	HCO ₃ [']	CO ₃ ^{''}	SO ₄ ^{''}	Cl [']	
Котловина оз. Хомуотак, скв. 17*	10,5	13/УП 1964	8,1	3,18	266,4	261,1	613,3	3,0	1,5	19,2	24,0	360,0	216,8	21,6	35,2	43,2	76,8	1,2	12,0	10,0
	15,5	15/УП 1964	8,0	2,77	211,2	206,1	490,4	20,0	Нет	17,1	27,6	898,5	175,2	21,5	34,9	43,6	49,8	1,9	38,2	10,1
	45-49	23/УП 1964	7,5	0,47	38,9	13,3	115,2	1,0	"	10,9	Нет	157,6	28,9	24,6	13,4	62,0	49,0	Нет	41,2	9,8
Котловина оз. Итык-Крель, скв. 18	1,6	6/У 1960	7,6	0,69	88,3	40,1	124,2	15,2	26,1	11,8	"	20,3	71,5	33,6	25,2	41,2	81,2	"	3,2	15,6
	5,0	7/У 1960	7,4	0,61	67,0	38,9	117,2	17,0	5,2	17,9	"	20,7	60,5	28,8	27,6	43,6	81,7	"	3,7	14,6
	5,9	7/У 1960	7,5	0,61	72,8	30,1	124,2	18,5	5,2	17,9	"	Нет	49,5	31,6	21,5	46,9	88,0	"	Нет	12,0
	10,0	9/У 1960	7,5	0,44	40,8	22,0	103,5	9,4	6,2	18,9	"	"	55,1	24,2	21,8	54,0	81,3	"	"	18,7
	12,0	11/У 1960	7,5	0,38	25,2	11,8	114,9	5,1	1,0	10,1	"	"	39,5	17,5	13,5	69,0	84,3	"	"	15,7
Котловина оз. Круглого, скв. 21	3,5	20/III 1954	Не опр.	3,90	112,2	292,0	972,5	Не опр.	Не опр.	13,4	"	551,3	1059,9	7,0	33,7	59,3	42,4	"	16,0	41,6
	5,0	20/III 1954	То же	2,57	196,4	252,7	595,5	То же	То же	19,0	"	20,6	486,5	18,9	40,1	41,0	72,8	"	0,8	26,4
Оз. Круглов, скв. 22	6,0	10/III 1954	"	3,59	58,7	268,1	954,4	"	"	103,0	"	447,3	957,0	4,4	33,6	62,0	43,0	"	14,0	41,0
Понижение I террасы, скв. 28	5,0	10/IX 1966	6,9	59,92	2570,9	7804,2	7850,4	46,5	"	133,1	"	4319,7	35699,2	11,6	58,8	29,6	0,9	"	8,1	91,0
Котловина оз. Латорного, скв. 49	2,8	21/VI 1961	Не опр.	1,38	34,3	156,9	305,8	4,5	Нет	150,5	189,0	Нет	323,0	6,2	46,4	47,4	44,2	23,0	Нет	32,8
	5,0	21/VI 1961	То же	1,40	29,3	183,6	275,0	6,0	"	1080,0	48,6	"	328,0	5,2	52,9	41,9	61,9	5,7	"	32,4
	8,0	21/VI 1961	"	1,25	56,1	122,2	255,2	6,0	"	99,3	99,9	"	283,7	11,5	42,9	45,6	53,6	13,6	"	32,8
	10,0	21/VI 1961	"	1,38	59,1	181,2	221,2	6,0	"	1043,4	95,4	"	254,9	10,8	54,1	35,1	62,2	11,6	"	26,2
	17,0	22/VI 1961	"	3,23	224,0	384,3	315,0	Не опр.	Не опр.	140,7	73,5	1719,6	193,2	19,9	56,0	24,1	18,6	4,3	67,3	9,8
	18,0	29/VI 1961	"	4,10	203,0	459,6	95,4	То же	То же	173,0	Нет	1724,4	286,1	25,4	66,8	7,8	22,2	Нет	66,8	11,0
Термокарстовая котловина, скв. 55	6,2	29/УП 1961	"	0,24	29,3	43,1	8,5	1,4	"	139,2	14,9	12,0	21,6	27,2	65,9	6,9	73,0	9,1	6,5	11,4
Котловина оз. Таас-Крель, скв. 74	1,4	29/VI 1963	8,0	0,76	19,4	90,1	169,9	3,0	0,3	112,5	90,0	Нет	39,4	6,2	47,0	46,8	74,0	18,9	Нет	7,1
	23,0	5/УП 1963	8,4	1,21	13,4	113,5	330,3	2,4	0,3	149,0	28,1	"	95,4	2,8	38,2	59,0	50,4	38,5	"	11,1
Котловина оз. Уу-Дегедики, скв. 78а	5,7	22/УП 1963	8,0	1,32	26,1	171,0	280,4	6,0	1,8	1350,0	Нет	"	72,4	4,9	50,9	44,2	92,8	Нет	"	7,2
	10,0	22/УП 1963	8,0	0,88	13,0	109,0	197,6	6,0	0,3	1030,0	"	"	46,1	3,6	49,2	47,2	92,8	"	"	7,2
	15,0	23/УП 1963	7,9	0,99	12,4	125,0	218,5	4,5	Нет	1050,0	48,0	"	57,1	3,2	50,4	46,4	84,2	7,8	"	7,9
	20,0	23/УП 1963	8,0	1,15	8,0	158,0	247,0	6,0	0,4	1370,0	Нет	"	57,4	1,7	53,8	44,6	93,3	Нет	"	6,7

Местонахождение и номер скважины	Глубина отбора пробы, м	Дата отбора	pH	Сумма минеральных веществ, г/л	Содержание ионов					Содержание ионов										
					мг/л					% мг-экв										
					Ca	Mg	Na+K	NH ₄	Fe	CO ₃ ²⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl	Ca	Mg	Na+K	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl
Котловина оз. Таво-Кюэль, скв. 79	5,0	14/У 1963	8,0	0,40	16,6	48,7	79,8	3,0	0,3	44,0	47,7	Нет	26,2	9,9	48,5	41,6	71,6	19,5	Нет	8,9
Котловина оз. Дьярама, скв. 86	6,5	7/УІ 1963	Не опр.	0,68	80,0	81,1	81,4	Не опр.	Не опр.	29,1	29,7	"	33,0	28,1	47,0	24,9	86,4	7,0	"	6,5
	9,5	7/УІ 1963	То же	0,88	93,4	113,0	103,7	5,5	Нет	27,9	Нет	"	29,5	25,4	50,3	24,3	95,6	Нет	"	4,4
	17,5	8/УІ 1963	"	1,28	81,0	154,0	228,6	5,5	"	22,6	"	"	59,2	15,0	47,6	37,4	93,8	"	"	6,2
	24,0	11/УІ 1963	"	1,17	87,2	159,0	167,7	5,5	"	26,9	"	"	62,4	17,0	52,0	30,0	93,5	"	"	6,5
То же у борта, скв. 86а	9,0	5/УІ 1963	"	0,85	59,5	98,2	149,0	4,5	"	30,0	"	"	69,3	16,9	46,2	36,9	88,7	"	"	11,3
Котловина оз. Орто-Кюэль, скв. 89	4,6	27/УІ 1963	"	0,96	87,6	141,0	101,7	Не опр.	Не опр.	25,4	"	"	23,1	21,4	56,9	21,7	96,8	"	"	3,2
	7,0	20/УІ 1963	"	1,26	59,1	185,3	171,1	То же	То же	29,7	95,4	"	80,5	11,5	59,5	29,0	78,7	12,4	"	8,9
	13,0	29/УІ 1963	Не опр.	1,25	55,3	222,0	141,4	"	"	24,9	71,7	"	51,1	10,2	67,2	22,6	85,9	8,8	"	5,3
	18,0	30/УІ 1963	То же	1,43	63,0	234,0	189,5	"	"	34,7	107,7	"	66,0	10,3	62,8	26,9	82,2	11,7	"	6,1
	24,0	31/УІ 1963	"	1,27	59,1	199,0	176,9	"	"	38,3	72,0	"	66,0	10,9	60,6	28,5	84,3	8,8	"	6,9
Оз. Сегедей, скв. 94	2,0	10/УІ 1963	8,4	3,18	7,6	301,0	881,1	6,0	0,4	58,3	366,0	"	447,0	0,6	39,0	60,4	60,0	19,1	"	19,9
	14,0	10/УІ 1963	8,4	2,02	128,0	295,0	260,4	6,0	0,4	81,2	Нет	"	395,0	15,2	57,8	27,0	73,5	Нет	"	26,5
То же на обсохшем участке, скв. 94а	4,0	19/УІ 1963	8,4	1,64	66,8	247,0	242,4	6,0	2,1	50,3	"	"	201,5	13,8	58,8	27,4	82,7	"	"	17,3
Котловина оз. Сегедей у северного борта, скв. 93	5,5	23/УІ 1963	Не опр.	1,22	78,6	228,0	195,0	5,0	0,3	23,1	45,6	"	330,0	9,9	59,3	30,8	68,3	4,5	"	27,2
	8,0	23/УІ 1963	То же	0,97	31,3	146,0	110,6	6,0	Нет	104,2	Нет	"	137,0	13,8	65,6	20,6	86,5	Нет	"	13,5
То же на обсохшей перемычке, скв. 96	5,0	10/У 1963	"	0,95	61,0	121,6	155,5	4,5	"	16,0	47,7	"	121,0	8,5	65,3	26,2	72,7	8,7	"	18,7
	8,0	18/У 1963	"	0,74	61,3	87,2	117,3	4,5	"											
	13,0	20/У 1963	"	0,79	52,9	89,4	143,5	4,5	"	1083,9	Нет	"	71,0	15,4	50,6	34,0	89,9	Нет	"	10,1
Котловина оз. Белейкен, скв. 97	2,5	30/УІ 1963	7,2	0,10	10,2	7,3	22,5	3,0	"	694,0	72,0	"	55,3	20,0	46,8	33,2	74,2	15,6	"	10,2
	8,0	30/УІ 1963	Не опр.	0,07	7,3	6,5	9,4	3,9	"	719,0	78,0	"	66,0	16,3	45,3	38,4	72,4	16,0	"	11,6
Оз. Куойа, у уреза воды, скв. 98										110,0	Нет	"	10,0	24,4	28,7	46,9	86,6	Нет	"	13,4
	1,8	8/УІІ 1963	8,2	0,71	24,8	80,3	156,9	6,0	0,5	68,5	"	"	6,6	27,7	41,0	31,3	85,7	"	"	14,3
										619,0	95,0	"	46,2	8,3	45,1	46,6	69,3	21,7	"	9,0

Местонахождение и номер скважины	Глубина отбора проб, м	Дата отбора	pH	Сумма минеральных веществ, г/л	Содержание ионов				
					мг/л				
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na+K ⁺	NH ₄ ⁺	Fe ⁺⁺

Оз. Куола, на обсохшей части котловины, скв. 99

3,0	30/УП 1963	7,8	0,59	11,2	50,9	164,9	5,1	Нет
10,0	31/УП 1963	7,6	0,89	10,2	118,0	192,3	6,0	2,0
15,0	5/УП 1963	8,0	0,91	18,6	105,0	211,8	6,0	Нет
19,0	7/УП 1963	8,6	0,98	22,2	98,4	246,6	6,0	"

То же, скв. 99а

7,2	8/УП 1963	8,0	1,42	39,1	240,0	199,2	6,0	0,5
-----	-----------	-----	------	------	-------	-------	-----	-----

То же, скв. 99б

9,5	8/УП 1963	8,1	1,08	57,1	149,0	183,1	6,0	0,8
-----	-----------	-----	------	------	-------	-------	-----	-----

Котловина оз. Чай-Куола, скв. 101

1,5	23/УП 1963	8,8	3,00	8,6	89,4	1126,3	5,1	0,3
4,5	23/УП 1963	8,8	3,24	8,6	138,0	1137,1	0,7	0,8
8,0	23/УП 1963	9,0	3,09	4,6	126,0	1111,4	5,1	Нет
12,5	23/УП 1963	9,0	5,59	7,4	80,3	2239,3	1,3	"
45,0	26/УП 1963	9,0	5,52	7,7	74,1	2211,7	5,4	"

Оз. Чай-Куола, у борта, скв. 102

18,0	23/IX 1963	8,6	2,25	11,4	34,8	879,1	4,5	"
------	------------	-----	------	------	------	-------	-----	---

Алао Ломтута, скв. 125

4,8	31/УП 1946	Не опр.	0,54	68,4	81,1	31,5	Не опр.	Не опр.
-----	------------	---------	------	------	------	------	---------	---------

Алао Туустах, скв. 127

11,0	6/У 1959	7,6	2,17	81,7	284,0	371,5	4,5	Нет
30,0	8/У 1959	7,6	2,54	76,9	249,2	558,1	4,5	"
53,0	3/УІ 1959	7,8	2,31	109,5	192,7	545,3	4,5	"

То же, скв. 127а

5,0	15/IX 1959	8,0	2,88	24,6	293,6	720,6	3,9	"
-----	------------	-----	------	------	-------	-------	-----	---

Котловина оз. Хатилма, скв. 133

3,4-6	10/У 1958	7,3	0,07	11,4	8,1	2,9	1,0	"
20,0	18/УІ 1959	8,0	0,52	61,9	65,8	53,5	2,4	1,6

То же, скв. 139

4,0	5/УІ 1959	7,0	0,13	12,4	10,4	27,4	1,3	Нет
7,0	5/УІ 1959	7,2	0,13	28,6	14,5	3,0	0,5	0,3
18,0	10/УІ 1958	6,9	0,07	11,4	8,7	4,1	Нет	2,4

Оз. Хатилма, скв. 145

2,0	19/ІУ 1958	8,2	1,19	83,9	196,8	123,7	3,8	Нет
10,0	21/ІУ 1958	7,9	0,59	19,1	82,2	105,4	10,3	"
14,0	22/ІУ 1958	7,8	0,53	12,4	79,9	107,5	8,9	"

Котловина оз. Хатилма у южного борта, скв. 148

5,0	22/У 1958	8,0	1,10	92,9	173,8	107,3	6,0	0,3
-----	-----------	-----	------	------	-------	-------	-----	-----

Продолжение табл. 30

Содержание ионов											
CO ₃ ⁺⁺	CO ₃ ⁺⁺	SO ₄ ⁺⁺	Cl ⁻	% мг. экв							
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na+K ⁺	HCO ₃ ⁺	CO ₃ ⁺⁺	SO ₄ ⁺⁺	Cl ⁻	

1,0	47,7	Нет	13,1	4,7	35,1	60,2	83,6	13,4	Нет	3,0	
8,0	47,7	"	28,0	2,7	52,3	45,0	87,2	8,6	"	4,2	
1,0	72,0	"	31,2	4,9	46,0	49,1	82,6	12,7	"	4,7	
9,0	96,0	"	36,2	5,6	40,4	54,0	78,6	16,0	"	5,4	
10,0	Нет	"	62,4	6,4	65,4	28,2	94,3	Нет	"	5,7	
10,0	"	"	56,0	12,3	53,2	34,5	93,0	"	"	7,0	
18,9	428,4	"	464,0	0,3	13,0	86,7	51,6	25,3	"	23,2	
14,0	554,1	"	438,0	0,3	18,7	81,0	49,5	30,3	"	20,2	
17,3	495,6	"	404,0	0,4	17,6	82,0	52,5	28,1	"	19,4	
19,8	1159,8	"	837,0	0,3	6,4	93,3	40,2	37,1	"	22,7	
15,3	1211,1	"	826,0	0,4	5,9	93,7	37,9	39,3	"	22,8	
18,2	245,7	"	420,0	1,4	6,9	91,7	51,9	19,7	"	28,4	
18,5	Нет	26,8	38,4	29,8	58,2	12,0	85,6	Нет	5,0	9,4	
13,9	74,4	Нет	563,5	9,6	53,6	36,8	58,6	5,6	Нет	35,8	
10,6	71,4	"	607,9	7,8	42,2	50,0	59,6	4,8	"	35,6	
15,6	Нет	"	612,4	1,2	35,2	52,6	61,8	Нет	"	38,2	
15,2	"	"	820,5	2,2	42,6	55,2	59,2	"	"	40,8	
13,2	"	"	5,3	41,8	49,0	9,2	87,8	"	"	12,2	
18,3	"	"	18,7	28,6	50,0	21,4	95,2	"	"	4,8	
140,3	"	"	13,0	23,2	32,0	44,8	86,2	"	"	13,8	
128,1	"	"	23,0	52,0	43,2	4,8	76,4	"	"	23,6	
179,3	"	"	5,8	39,0	48,8	12,2	88,8	"	"	11,2	
131,0	108,0	"	39,6	16,2	63,2	20,6	81,6	14,0	"	4,4	
133,2	12,0	"	24,5	7,8	55,0	37,2	91,2	3,2	"	5,6	
149,6	12,0	"	28,8	5,2	55,4	39,4	89,8	3,4	"	6,8	
193,8	Нет	"	27,0	19,6	60,6	19,8	96,8	Нет	"	3,2	

Местонахождение и номер скважины	Глубина отбора пробы, м	Дата отбора	рН	Сумма минеральных веществ, г/л	Содержание ионов					Содержание ионов										
					мг/л									% мг. экв						
					Ca	Mg	Na+K	NH ₄	F	CO ₃ ^{II}	CO ₃ ^{II}	SO ₄ ^{II}	Cl	Ca	Mg	Na+K	HCO ₃ ^I	CO ₃ ^{II}	SO ₄ ^{II}	Cl
Оз. Хатха, скв. 153	1,8	15/IV 1959	7,5	0,74	120,6	108,7	13,6	9,0	Нет	168,6	Нет	Нет	7,5	37,8	55,4	6,8	98,4	Нет	Нет	1,6
	6,0	15/IV 1959	7,2	0,27	48,0	28,7	15,2	9,0	Нет	117,8	"	"	7,5	44,3	43,5	12,2	96,1	"	"	3,9
	10,0	15/IV 1959	7,1	0,31	42,7	37,0	25,1	9,0	0,3	157,1	"	2,0	6,9	35,1	46,9	18,0	96,0	"	0,8	3,2
	11,0	15/IV 1959	7,1	0,29	46,1	31,6	22,3	9,0	Нет	141,9	"	2,0	7,9	39,2	44,2	16,6	95,5	"	0,7	3,8
	16,0	17/IV 1959	7,2	0,32	56,7	37,4	12,6	9,0	"	141,6	"	Нет	3,6	40,8	45,5	13,7	98,5	"	Нет	1,5
	20,0	18/IV 1959	7,3	0,29	48,0	34,1	17,5	10,0	"	145,0	"	4,0	8,2	40,2	47,1	12,7	94,6	"	1,6	3,8
	23,0	21/IV 1959	7,0	0,24	45,2	28,6	26,4	9,0	"	132,9	"	4,0	7,6	39,2	40,8	20,0	94,6	"	1,6	3,8
Оз. Улахан-Тенгитте, у борта, скв. 158	2,0	8/УП 1958	7,4	0,15	43,5	12,9	0,7	0,8	Нет	133,0	"	Нет	9,4	66,6	32,6	0,8	91,8	"	Нет	8,2
	3,5	8/УП 1958	7,4	0,19	53,2	14,1	4,6	0,6	То	134,9	"	"	5,8	66,2	28,8	5,0	96,0	"	"	4,0
	6,0	9/УП 1958	7,4	0,33	80,3	29,9	9,6	1,2	"	178,2	"	"	24,5	58,2	35,8	6,0	90,0	"	"	10,0
Котловина оз. Маро, скв. 125**	6,2	5/IX 1946	Не опр.	2,52	149,7	503,6	142,3	Не опр.	"	188,6	"	"	331,9	13,6	75,2	11,2	83,0	"	"	17,0

* Данные А.М.Федорова.

** Данные П.А.Соловьева.

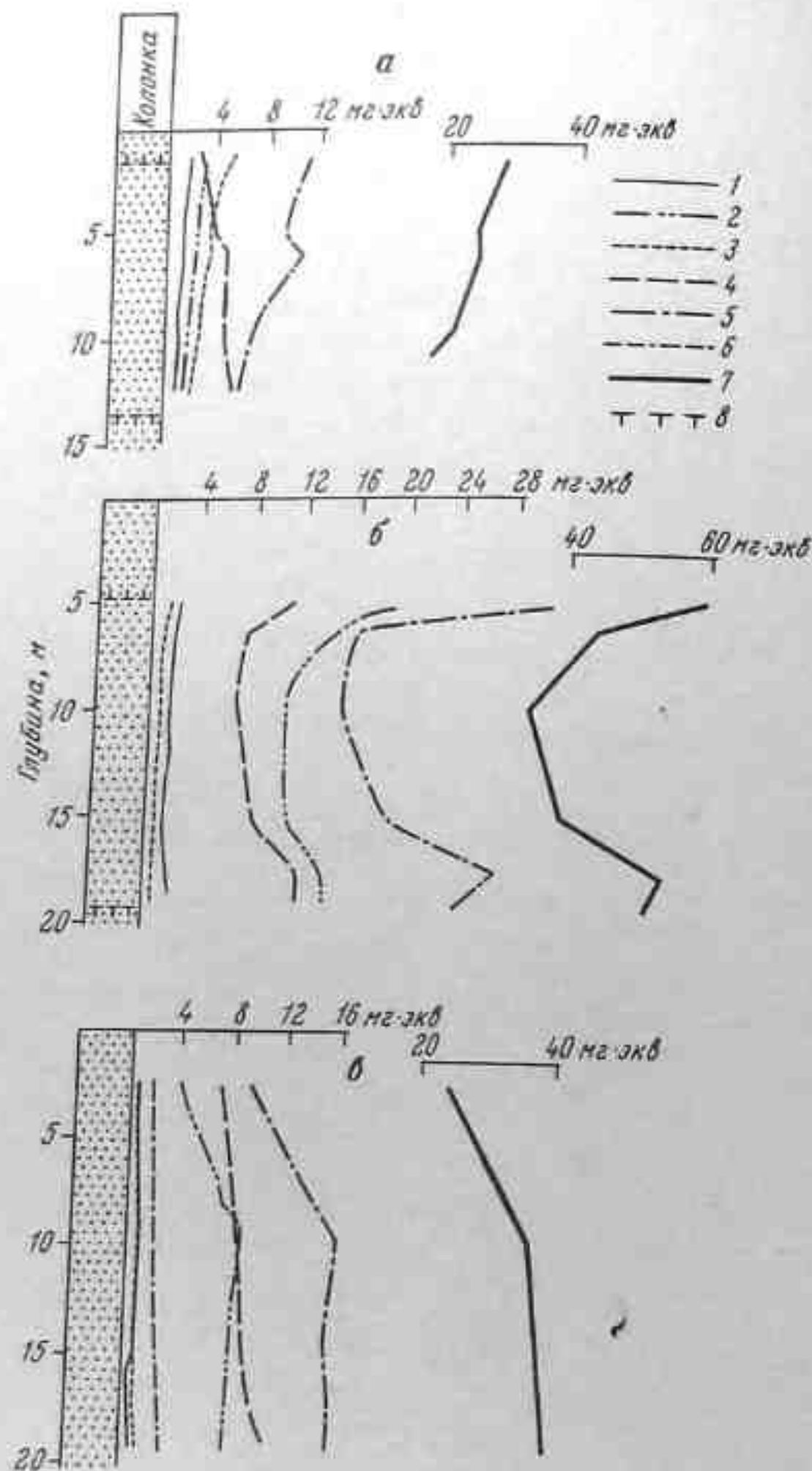


Рис. 36. Изменение ионного состава воды подозерных таликов, сложенных песками

а - в несквозном талике на второй надпойменной террасе; б - в несквозном талике на Бестяхской террасе; в - в сквозных таликах на Бестяхской террасе
Содержание ионов: 1 - Cl^- ; 2 - Mg^{++} ; 3 - Ca^{++} ; 4 - Na^+ ; 5 - HCO_3^- ; 6 - CO_3^{--} ; 7 - сумма минеральных веществ; 8 - граница многолетнемерзлых пород

В подозерных таликах большой мощности минерализация воды зачастую изменяется в значительных пределах. Иногда даже в разрезе одного талика встречаются воды и слабоминерализованные, и солонощатые.

Детальное опробование сквозного талика под оз. Хатылыма^I свидетельствует о том, что в подозерной части минерализация его воды в разрезе понижается от 1,2 до 0,5 г/л (скв. 145), а на обсохшей части котловины у северного борта (скв. 133), где в талик поступают надмерзлотные воды, она, наоборот, повышается от 0,07 до 0,5 г/л. Непосредственно под современными многолетнемерзлыми породами у южного борта минерализация воды равна 1,1 г/л и с глубиной понижается (табл. 30, скв. 148, см. рис. 20). В ее солевом составе преобладают гидрокарбонаты магния при повышенном содержании гидрокарбонатов натрия. Концентрация последних наиболее повышена в верхних слоях талика на границе с сезоннопромерзающими породами.

Аналогичное распределение минерализации отмечается в талике под оз. Куойа. На обсохшей части котловины (см. табл. 30, скв. 99), где образование многолетнемерзлых пород еще не началось, минерализация воды повышается по вертикальному разрезу талика от 0,6 до 1,0 г/л, тогда как на промерзающих участках под многолетнемерзлыми породами она достигает 1,1-1,4 г/л (скв. 99а, 99б). В солевом составе преобладают гидрокарбонаты магния.

Среди подозерных таликов Бестяхской террасы наибольшей минерализацией воды характеризуется талик под оз. Чай-Кюель (см. табл. 30, скв. 101). Под обсохшей частью котловины, в 5 м от уреза воды в озере, водоносный талик начинается почти с поверхности. На этом участке минерализация воды в нем увеличивается по разрезу от 3,2 г/л на глубине 4,5 м до 5,6 г/л - в интервале от 12,5 до 45 м. В солевом составе воды талика, как и в самом озере, преобладают гидрокарбонаты натрия.

Итак, в подозерных таликах, сложенных однородной толщей песков, на прибортовых еще не промерзающих участках минерализация воды за счет подтока надмерзлотных вод более низкая в верхних слоях, а с глубиной повышается. В подозерных частях талика, так же как и на обсохших участках котловины под новообразующимися многолетнемерз-

^I Оз. Хатылыма (№ 259) находится в эрозивно-термокарстовой долине Тунгиланской террасы, его подозерный талик сложен хороофильтующими песчано-галеичниковыми отложениями и юрскими песчаниками.

лыми породами, минерализация воды, наоборот, понижается вниз по разрезу.

В замкнутых таликах, сложенных плохофильтрующими суглинками, перемещение солей из более минерализованных верхних слоев вниз происходит диффузионным путем. Поэтому минерализация воды по вертикальному разрезу в них уменьшается. В ионном составе воды преобладают гидрокарбонаты и магний.

Талики, в разрезе которых хорошоводопроницаемые породы переслаиваются слабоводопроницаемыми, наиболее часто встречаются под термоарстовыми озерами. Простейший случай — когда верхняя часть разреза сложена суглинками, нижняя — песками. Такие талики распространены и на низких террасах р. Лены.

В суглинках, составляющих верхние слои таликов, минерализация воды обычно выше, чем в подстилающих их песках. Для примера можно назвать талики под аласом Туустах и под оз. Сегелей (см. табл. 30, скв. 127, 94). Вниз по разрезу состав воды в талике под аласом Туустах изменяется от хлоридно-гидрокарбонатного натриево-магниевого до хлоридно-гидрокарбонатного магниево-натриевого, а под оз. Сегелей — от гидрокарбонатного натриевого до гидрокарбонатного магниевого.

В давно обсохших котловинах минерализация воды в толще песков, залегающих под промерзающими суглинками, обычно превышает 2-3 г/л. При минерализации 3-5 г/л в разрезе песков хорошо прослеживается гравитационная дифференциация воды.

Так, в талике под оз. Хомустах (см. табл. 30, скв. 17), по данным А. М. Федорова, непосредственно под многолетнемерзлыми породами (на глубине 10,5 м) вода имеет минерализацию 3,2 г/л, в солевом составе преобладают соли с меньшим удельным весом — гидрокарбонаты натрия при повышенном содержании гидрокарбонатов кальция и магния. Вниз по разрезу повышается содержание сульфатов — солей, имеющих больший удельный вес. В нижних слоях водоносных песков на глубине 20-22 м при минерализации 5 г/л преобладают сульфаты магния и натрия.

В этом талике толща песков подстилается водоупорными алевролитами, под которыми залегают водоносные песчаники. Минерализация воды в них 0,4 г/л, состав гидрокарбонатный натриевый.

На низких террасах замкнутые промерзающие талики, сложенные в верхних слоях суглинками, в нижних — песками, имеют небольшую мощность и содержат воду с минерализацией более 3 г/л.

В промерзающем талике под оз. Круглым минерализация воды под обсохшей частью котловины, вблизи от уреза воды в озере, в конце зимнего периода понижается с глубиной от 3,9 до 2,5 г/л. В соле-

вом составе преобладающими являются хлориды и гидрокарбонаты натрия и магния (см. табл. 30, скв. 21). Высокая минерализация воды благоприятствует интенсивному охлаждению талика. Зимой температура водонасыщенных пород в нем понижается до $-0,4^{\circ}$.

При еще большей минерализации воды в промерзающем талике под полностью высохшим озером отрицательная температура растворов может сохраняться на протяжении всего года. При этом с повышением минерализации и понижением отрицательной температуры растворов из них сначала выпадают гидрокарбонаты и карбонаты щелочноземельных металлов, а затем сульфаты натрия. Концентрация хлоридов магния, преобладающих в солевом составе воды таких таликов, будет несколько изменяться по разрезу в соответствии с изменением температуры. Однако, как уже указывалось, подобные реликтовые талики с высокой минерализацией воды (60 г/л) и отрицательной температурой встречаются в исследованном районе редко, их формирование возможно лишь в условиях распространения сильно засоленных почв на левобережных низких террасах (например, реликтовый талик на первой надпойменной террасе р. Лены, см. табл. 30, скв. 28).

Прослой в разрезе таликов водоупорных глин и алевролитов мощностью 5-10 м затрудняют водообмен между горизонтами, находящимися над и под ними, поэтому состав и минерализация воды могут быть различными. В промерзающих таликах большой мощности наиболее высокая минерализация отмечается в верхних слоях, залегающих выше водоупорных пород. Химический состав воды в них зависит от первоначального солевого состава ее в таликах и особенно от степени ее метаморфизации.

В неогеновых или эрских песчаниках и песках, залегающих в таких таликах под водоупорными породами, минерализация воды не превышает 1 г/л, состав ее гидрокарбонатный.

В эрозионно-термокарстовых долинообразных понижениях подозерные талики обычно сложены хорошоводопроницаемыми песками, переслаиваемыми слоями плоховодопроницаемых суглинков. В таких таликах под обсохшими участками дна котловины минерализация воды по разрезу песков до водоупорного слоя повышается. Глубже, под водоупорными прослоями плотных суглинков, она несколько ниже, чем в верхних слоях. В талике под оз. Орто-Клель (скв. 89) и под аласом Дъарама (скв. 86) минерализация воды по глубине повышается от 0,7 до 1,5 г/л, главным образом, за счет гидрокарбонатов магния и натрия. Под метровым прослоем суглинка на глубине 24 м она ниже (1,1 г/л). Вода имеет высокую жесткость (10-20 мг. экв.), обусловленную гидрокарбонатами магния.

При слоистом строении замкнутых таликов сравнительно небольшой

мощности, промерзающих как сверху, так и снизу, более высокой минерализацией иногда характеризуются воды, приуроченные к нижним слоям, сложенным коренными породами, отделенными от аллювиальных песков водоупорными алевролитами. На рис. 22 был показан разрез такого талика под обсохшей частью котловины оз. Лагерного, в котором в толще водоносных аллювиальных песков мощностью 9,0 м минерализация воды изменяется от 1,2 до 1,4 г/л, в солевом составе преобладают гидрокарбонаты магния при повышенном содержании хлоридов натрия (см. табл. 30, скв. 49), тогда как в юрских песчанниках, залегающих с глубины 16 м, под 5-метровым слоем алевролитов минерализация воды в результате промерзания повысилась до 4 г/л, в солевом составе ее преобладают сульфаты магния.

Из приведенной выше краткой характеристики наиболее типичных гидрохимических разрезов подозерных таликов, имеющих широкое распространение в пределах Центральной Якутии, следует, что характер изменения минерализации воды в подозерной части талика и под обсохшими участками дна котловин неодинаков. В большинстве случаев в подозерной части меньшей минерализацией характеризуются нижние слои талика, особенно залегающие под водоупорными слоями¹.

В таликах под обсохшими частями котловин распределение минерализации по вертикальному разрезу неоднородно и зависит от особенностей промерзания талика. В котловинах, сложенных хорошо фильтрующим песком, при отсутствии современных многолетнемерзлых пород минерализация воды в талике увеличивается вниз по разрезу (за исключением самых верхних слоев, в которых она зимой повышается за счет отжатия солей при сезонном промерзании пород).

На сырых участках вблизи уреза воды в верхних слоях таликов минерализация воды, так же как и под озерами, часто выше (летом — за счет потери воды на испарение и транспирацию, зимой — за счет отжатия солей при промерзании). Исключения составляют случаи, когда такие участки находятся вблизи борта озера, по которому в талик поступают надмерзлотные воды (например, скв. 79, см. табл. 30).

На тех участках, где происходит промерзание талика, минерализация воды на границе с мерзлыми породами выше, чем в глубезалегающих слоях талика. Неодинаковая минерализация по вертикальному разрезу создает неоднородность и в горизонтальном простирании талика. При разведке подозерных вод эти обстоятельства необходимо учитывать.

В изолированных подозерных таликах наиболее перспективными для водоснабжения горизонтами являются: 1) на низких террасах — нижние горизонты среднезернистых песков русловой фации; 2) на Бастяхской террасе, под обсохшими, но еще не промерзшими участками, находящимися ближе к борту котловины, — верхние слои пород до глубины 10–20 м, содержащие пресные воды с минерализацией 0,1–0,5 г/л; 3) на Тынголунской, Абалахокой и Табагинской террасах — нижние горизонты аллювиальных песков русловой фации или верхние слои коренных песчанников, залегающих под водоупорными слоями; 4) на аллювиальной равнине — нижние горизонты неогеновых песков и верхние слои песчанников, залегающие под слоями водоупорных глин.

¹ Исключения составляют талики с высокоминерализованной водой, в которых происходит расслоение ее по плотности.

Приведенная выше характеристика таликов свидетельствует о том, что их распространенность, мощность, водоносность и гидрохимические особенности, в зависимости от изменения комплекса природных факторов, варьируют в значительных пределах. В целях рационального планирования поисков и использования водных ресурсов таликовых зон в народном хозяйстве в пределах исследованной территории необходимо выделить районы, характеризующиеся общностью природных условий, определяющих распространенность таликов, сходных по основным гидрогеологическим показателям.

При выделении районов учитывался комплекс следующих важных показателей, определяющих распространение, мощность и химический состав воды таликов: 1) геологическое строение (особенно мощность и состав четвертичных отложений) и водопроницаемость подстилающих их коренных пород; 2) мерзлотные условия (мощность, температура и степень прерывистости многолетнемерзлых пород); 3) геоморфологические условия (распространенность, величина и строение озерных котловин, речных долин и их водосборных площадей); 4) гидрогеологические условия (в основном глубина залегания подмерзлотных вод); 5) гидрогеохимические особенности (химический состав пород и питающих талики вод).

По общности указанных условий в пределах исследованной территории можно ориентировочно выделить 7 районов (рис. 37).

1. Русло р. Лены. Русловые пески с галькой мощностью от I до 10-15 м в южной части района подстилаются водоносными известняками среднего кембрия, а севернее пос. Покровск — юрскими песчаниками. Многолетнемерзлые породы под основной частью русла отсутствуют (сквозной подрусовый талик), а под протоками реки залегают с глубины 30-40 м (несквозной талик). Наиболее перспективным для водоснабжения является водоносный горизонт в галечнике (удельный дебит до 4,7 м³/час — по данным А.И. Ефимова, 1964), а в южной части района также и в известняках, подстилающих галечник.

Минерализация подземных вод, циркулирующих в галечнике, не превышает 0,6 г/л, в ионном составе преобладают гидрокарбонаты или хлориды натрия. В известняках среднего кембрия на глубине 30-70 м (в районе пос. В. Бестях) минерализация воды изменяется от 0,4 до 0,6 г/л, состав гидрокарбонатный натриево-кальциевый.

2. Пойма и низкие надпойменные террасы р. Лены. Аллювиальные отложения мощностью 5-20 м, представленные средне- и мелкозернистыми песками и супесями, в южной части района подстилаются известняками среднего кембрия, которые к северу от пос. Покровск перекрываются юрскими песчаниками. Распространение многолетнемерзлых пород преимущественно повсеместное. Мощность их изменяется от 50 до 450 м. Широко распространены подозерные несквозные талики мощностью от нескольких до 30-40 м. Лучшей водоотдачей в таликах характеризуются нижние слои более крупных галечниковых песков, залегающих в основании толщ четвертичных отложений (русовая фация). По данным Якутской центральной геологосъемочной экспедиции геологического управления, удельный дебит скважины составляет 0,1-0,2 л/сек.

Химический состав воды в подозерных таликах низких террас изменяется в значительных пределах. Пресную воду с минерализацией 0,5-0,7 г/л имеют талики под не промерзающими до дна периодически или ежегодно проточными озерами, которые находятся в тыловой части второй надпойменной террасы, у основания высоких террас. Питательные качества воды в таких таликах несколько ухудшаются из-за повышенного содержания железа (особенно в верхних слоях таликов). В ионном составе воды преобладают гидрокарбонаты, кальций, магний, натрий.

В таликах под непроточными мелководными озерами на первой и второй надпойменных террасах вода для питья непригодна. Минерализация ее — более 2 г/л, в солевом составе преобладают сульфаты и хлориды натрия и магния.

3. Высокие правобережные надпойменные террасы р. Лены (Бестяхская, Тунгюльнская и Абалахская), к югу от долины р. Тамны. Аллювиальные отложения мощностью 10-60 м в основном представлены песками. Типичные озерноаллювиальные отложения, слагающие верхние 10-15-метровые слои Тунгюльнской и Абалахской террас, появляются к востоку от оз. Хатылыма.

В крайней южной части района, примерно до широты устья р. Менды, аллювиальные отложения залегают на известняках среднего кембрия, севернее — на юрских песчаниках. Мощность многолетнемерзлых пород изменяется от 20 до 100 м.

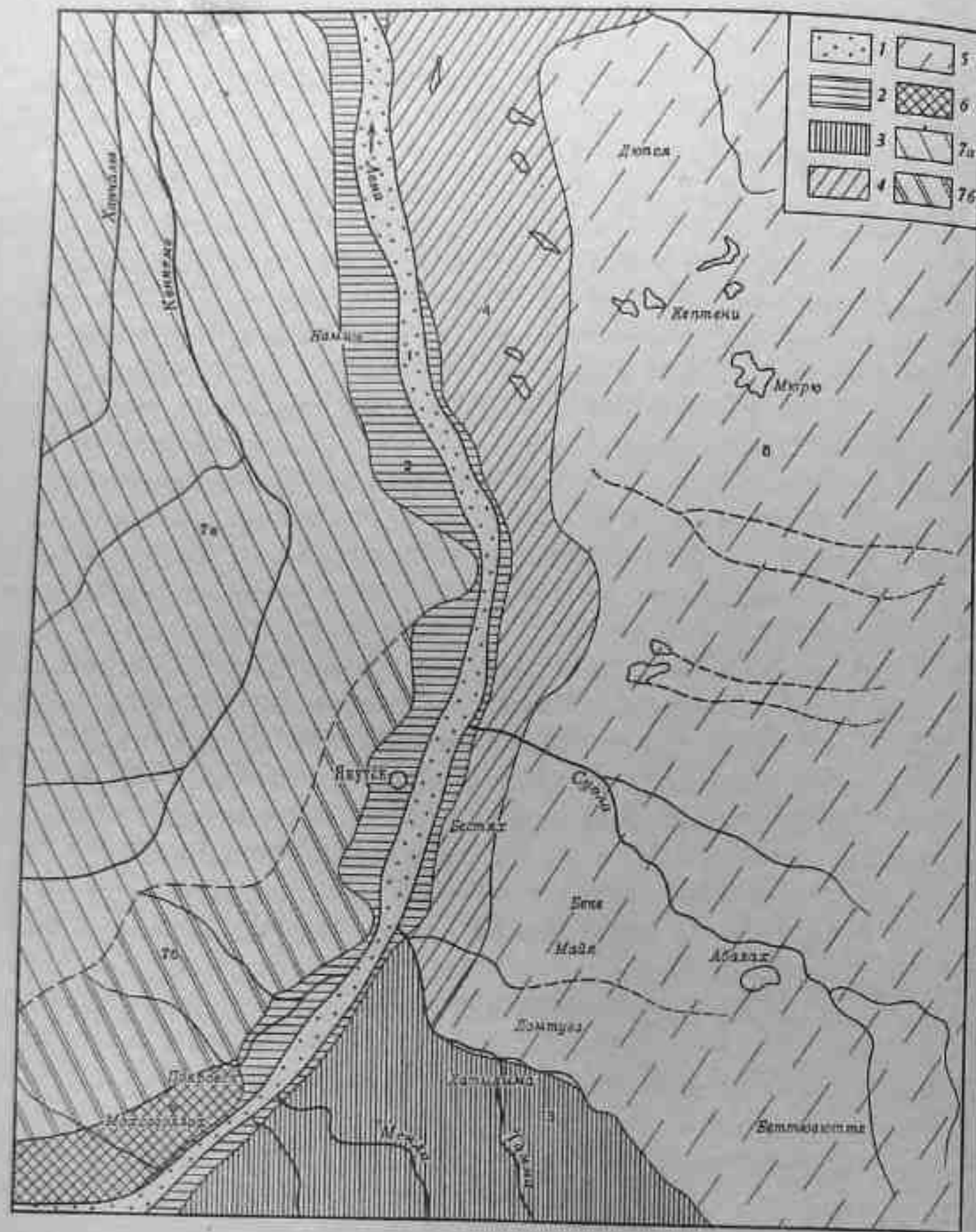


Рис. 37

Схема районирования юго-восточной окраины Центрально-Якутской низины

- 1 - русло р. Лены; 2 - пойма и низкие надпойменные террасы р. Лены; 3 - высокие правобережные надпойменные террасы р. Лены; 4 - четвертая правобережная надпойменная Бестяхская терраса и прилегающие к ней участки пятой Тынгульской террасы; 5 - пятая (Тынгульская) и шестая (Абалахская) правобережные террасы р. Лены; 6 - пятая (Тынгульская) и шестая (Абалахская) надпойменные левобережные террасы р. Лены; 7а - древняя аллювиальная равнина; 7б - эрозионно-денудационный склон древней аллювиальной равнины;

Широко распространены подозерные, присклоновые и подрусовые талики (сквозные и несквозные). В толще аллювиальных отложений, слагающих талики, лучшей водоотдачей характеризуются нижние песчано-галечниковые горизонты (удельный дебит скважин составляет 0,1-0,2 л/сек). В сквозных таликах водоносны и кембрийские породы, подстилающие аллювиальные отложения.

Воды подрусовых и присклоновых таликов рек Таммы, Улахан-Тарын, Менды, Лютенки, а также воды таликов под проточными и сточными озерами обладают хорошими питьевыми качествами. Минерализация их - 0,1-0,3 г/л, состав - гидрокарбонатный кальциево-магниевый, магниевый или натриевый. Питьевые качества воды ухудшаются в промерзающих таликах под обсыхающими термокарстовыми котловинами, наиболее широко распространенными восточнее оз. Таталыма. Минерализация воды в таких таликах повышается до 2-3 г/л, общая жесткость - до 20-30 мг. экв.

4. Четвертая правобережная надпойменная Бестяхская терраса и прилегающие к ней участки пятой Тынгульской террасы. Мощность аллювиальных песков (в основании галечниковых), слагающих Бестяхскую террасу, составляет 60-80 м. В южной половине площади этого района четвертичные пески подстилаются юрскими песчаниками, в северной - неогеновыми песками с прослоями глин и аргиллитов. Мощность многолетнемерзлых пород изменяется от 150 до 350 м. Широко распространены озера диаметром от 1 до 2-3 км, под которыми талики имеют большую мощность (70-100 м), вплоть до сквозных через всю толщу многолетнемерзлых пород. Под озерами диаметром менее 300 м талики несквозные, мощностью до 20-30 м. Метаморфизация химического состава воды озер, находящихся на песчаной Бестяхской террасе, происходит за счет накопления в них гидрокарбонатов и карбонатов натрия.

Минерализация воды в подозерных таликах, в зависимости от величины обсохшей части котловины, площади промерзающих зимой мелководных участков и степени засоленности озерной воды, изменяется от 0,1-0,2 до 2 г/л (редко до 5-10 г/л). Менее минерализованные воды гидрокарбонатного натриево-магнезиевого состава встречаются на прибортовых участках таликов (за счет поступления надмерзлотных вод).

Минерализация воды в подозерных таликах, в зависимости от величины обсохшей части котловины, площади промерзающих зимой мелководных участков и степени засоленности озерной воды, изменяется от 0,1-0,2 до 2 г/л (редко до 5-10 г/л). Менее минерализованные воды гидрокарбонатного натриево-магнезиевого состава встречаются на прибортовых участках таликов (за счет поступления надмерзлотных вод).

- 3 - высокие правобережные надпойменные террасы р. Лены; 4 - четвертая правобережная надпойменная Бестяхская терраса и прилегающие к ней участки пятой Тынгульской террасы; 5 - пятая (Тынгульская) и шестая (Абалахская) надпойменные левобережные террасы р. Лены; 6 - пятая (Тынгульская) и шестая (Абалахская) надпойменные левобережные террасы р. Лены; 7а - древняя аллювиальная равнина; 7б - эрозионно-денудационный склон древней аллювиальной равнины;

В обсыхающих котловинах, на участках, где еще не началось образование многолетнемерзлых пород, минерализация воды в таликах обычно ниже 1 г/л, а под слоями современных многолетнемерзлых пород — выше 1 г/л. В солевом составе воды преобладают гидрокарбонаты магния и натрия. Однако даже при сравнительно невысокой минерализации вода в таликах очень жесткая (более 10 мг. экв) и зачастую с повышенным содержанием железа. Вблизи населенных пунктов в водах подозерных таликов может быть кишечная палочка. Поэтому воды, залегающие в аллювиальных отложениях таких таликов, нельзя использовать для водоснабжения без предварительной очистки.

В таликах большой мощности наиболее перспективными для водоснабжения являются воды в неогеновых песках, отделенных от верхней промерзающей толщи четвертичных отложений слоями водоупорного аргиллита.

5. Высокие правобережные пятая (Тынгульская) и шестая (Абалахская) надпойменные террасы р. Лены. Мощность аллювиальных отложений, слагающих террасы, 70–100 м. Верхняя часть разреза террас представлена плоховодопроницаемыми древними озерно-аллювиальными отложениями, нижняя — песками, в основании галечниковыми. В южной части района четвертичные отложения залегают на юрских песчаниках, в северной — на неогеновых песках. Мощность многолетнемерзлых пород изменяется от 200 до 400 м и более. Широко распространены обсыхающие различной величины термокарстовые котловины и эрозионно-термокарстовые долины. Крупные озера встречаются редко, большинство из них находится в системе древних эрозионных понижений. Преобладающее распространения имеют несквозные подозерные талики. Сквозные талики встречаются лишь под наиболее крупными озерами (Тынгулю, Балыктах, Матта и др.). В результате промерзания подозерных таликов под обсыхающими котловинами состав воды в них ухудшается, минерализация превышает 1–2 г/л, жесткость — более 10–15 мг. экв. Из промерзающей верхней суглинистой толщи в талики отжимаются растворенные органические вещества, соединения азота (NH_4 , NO_2), железо. Такая вода непригодна для питья. Однако вертикально по разрезу талика минерализация воды понижается, и если в толще песчаных отложений имеются слои водоупорных суглинков, то под ними может содержаться вода удовлетворительного качества.

В северной части района в таликах мощностью 80–100 м воды, пригодные для питья, содержатся в нижних слоях, представленных неогеновыми песками. Удовлетворительное качество воды также в таликах под проточными озерами, находящимися в верхнем и среднем течении эрозионно-термокарстовых долин.

6. Высокие левобережные пятая (Тынгульская) и шестая (Абалахская) надпойменные террасы р. Лены. Аллювиальные отложения мощностью 17–50 м в верхней 8–20-метровой толще представлены льдовыми песками, супесями, суглинками, в нижней — песками, в основании галечниковыми. Аллювиальные отложения залегают на известняках или песчаниках, отделенных от них водоупорными алевролитами.

Многолетнемерзлые породы мощностью 150–250 м распространены повсеместно. Много небольших озер термокарстового происхождения, под которыми талики несквозные, мощностью до 30–40 м, реже 50–70 м. Состав воды в таликах в толще аллювиальных песков гидрокарбонатный натриево-магниевый с минерализацией 0,6–1,0 г/л. В промерзающих таликах под обсыхающими котловинами минерализация воды повышается до 1,5–2 г/л (реже 3–4 г/л), в солевом составе преобладают гидрокарбонаты натрия, реже сульфаты натрия и магния. Воды жесткие и очень жесткие. В большинстве таликов они непригодны для питья.

7. Древняя аллювиальная равнина. Четвертичные отложения мощностью 2–17 м, представленные песками, супесями, суглинками, на большей части территории залегают на неогеновых песках и глинах, а в южной части района (в пределах эрозионного склона долины) — на юрских песчаниках. Многолетнемерзлые породы преимущественно распространены повсеместно, мощность их достигает 350 м (в долине р. Кенкеме). Озера сравнительно редки. Талики под озерами и под углубленными плесами рек Ханчалы и Кенкеме несквозные, различной мощности.

Минерализация воды в таликах этого района изменяется от 0,5 до 5 г/л. В пределах древней аллювиальной равнины (см. рис. 37, район 7а) пресные воды с минерализацией менее 1 г/л гидрокарбонатно-магниевого состава содержатся в таликах под озерами, находящимися в долинообразных понижениях и в маломощных подрусловых таликах в нижнем течении рек Кенкеме и Ханчалы. В таликах большой мощности пресные воды могут содержаться также в нижних слоях, сложенных неогеновыми песками, отделенными от вышележащих четвертичных отложений водоупорными аргиллитами. В изолированных промерзающих таликах под обсыхающими котловинами минерализация воды повышается до 3–5 г/л. В ионном составе ее преобладают гидрокарбонаты натрия и магния, иногда при повышенном или преобладающем значении сульфатов.

В пределах эрозионно-денудационного склона древней аллювиальной равнины (район 7б) озера встречаются редко. Подозерные талики маломощны. Лишь в северной части, в окрестностях пос. Маган, рас-

пространены термокарстовые озера, под которыми талики имеют мощность до 70 м. В верхней толще рыхлых отложений под современными многолетнемерзлыми породами минерализация воды достигает 2-5 г/л, в солевом составе преобладают гидрокарбонаты или сульфаты натрия и магния. Пресные воды с минерализацией менее 1 г/л гидрокарбонатного натриевого или магниевого состава содержатся в нижних слоях таликов, сложенных трединоватыми песчаниками и песками, отделенных от верхней толщи рыхлых отложений водоупорными аргиллитами.

Из вышеприведенной краткой характеристики выделенных районов видно, что широким распространением таликов с водой хорошего питьевого качества характеризуются лишь первый и третий районы. Во всех прочих районах распространены только подозерные талики, в основном несквозные, мощность которых варьирует от нескольких до десятков метров, минерализация воды — от десятых грамма до 3-5 г/л.

Запасы воды, пригодной для питья, в таких таликах ограничены, обычно не восполняются, и в процессе эксплуатации ее качество будет ухудшаться вследствие подтока более минерализованных вод из промерзающих слоев. В одном из подзасных таликов, площадью 0,37 км², запас питьевой воды в нижнем горизонте, приуроченном к юрским песчаникам, составляет $1,3 \times 10^6$ м³, а в верхнем содержатся непригодные для питья воды (скв. 17); в другом, площадью 1 км², запас воды в толще аллювиальных песков составляет $2,2 \times 10^6$ м³. Под более крупными озерами Бестяхской террасы запасы воды в таликах значительно больше, но высокая жесткость делает ее непригодной для водоснабжения.

В целях расширения возможностей использования вод подозерных таликов для водоснабжения, необходимо внедрять в практику дешевые методы очистки, эффективные в местных условиях.

В связи со значительной изменчивостью основных гидрогеологических показателей по площади и разрезу таликов, поиски пресных вод, наиболее перспективных для водоснабжения, требуют от изыскателей применения определенных методов, основные положения которых, а также некоторые рекомендации по искусственному улучшению качества воды излагаются ниже.

Особенности поисков пресных вод. Приведенный в настоящей работе анализ условий, определяющих формирование и изменение химического состава воды таликов, свидетельствует о том, что еще до начала полевых поисково-разведочных работ исследователь может ориентировочно определить места заложения гидрогеологических скважин.

Предварительно ответив на следующие вопросы: на каких участках района возможны наиболее перспективные водоносные талики; каков геологический разрез и ориентировочная мощность талика; возможен ли водообмен в талике; промерзает ли талик; какие горизонты могут оказаться наиболее перспективными по качеству воды и водоотдаче пород?

Для ответа на эти вопросы необходимо ознакомиться с печатной фондовой литературой, содержащей описание особенностей формирования и изменений химического состава воды в таликах и включающей фактические материалы геологических, гидрогеологических, гидрохимических, гидрогеохимических и других исследований по интересующему району, а также изучить общие физико-географические карты. Из указанных источников можно получить представление о рельефе изучаемой территории, о степени его расчленения (условия стока), о ширине и строении речных долин, отсутствии или наличии замкнутых депрессий, о наличии и характере озер, их величине, проточности, усыхаемости, о заболоченности котловин, о литологическом составе пород, мощности и водопроницаемости рыхлых отложений и подстилающих их коренных пород, о засоленности почвогрунтов, мерзлотных условиях, количестве атмосферных осадков и т.д.

Если специальные карты и материалы отсутствуют или, исходя из имеющихся данных, ответить на поставленные выше вопросы невозможно, необходимые сведения можно получить при проведении рекогносцировочных полевых исследований.

При предварительных полевых исследованиях необходимо определить: 1) размеры и глубину водотока или водоема; 2) характер берегов — низкие, заболоченные, песчаный пляж, обрыв террасы; 3) для реки — характер и состав отложений, слагающих русло, прирусловую пойму и террасы, их высоту, крутизну склонов; 4) для озера — проточность, строение дна, величину водосборной площади, состав отложений, слагающих дно и водосборную площадь, отношение площади обсохшей части дна к зеркалу воды, зарастаемость растительностью (осока, камыш). Кроме того, из озера и реки взять пробы воды на химический анализ.

При интерпретации полученных данных следует иметь в виду, что в речных долинах воду удовлетворительного качества можно ожидать в подрусловых таликах под не промерзающими до дна участками реки, сложенными песчано-галечниковыми отложениями и среднекембрийскими известняками, а также в присклоновых таликах высоких песчаных террас. Заболоченные и залесенные террасы обычно полностью промерзнут.

В озерных котловинах качество воды в таликах тем хуже, чем меньше площадь зеркала, глубина воды и больше обсохшая часть дна. Воду удовлетворительного качества в подозерных таликах можно ожидать: а) под проточными озерами - в нижних галечниковых слоях талика в подозерной части; б) в котловинах эрозийного происхождения, сложенных песком, - на прибортовых участках (обычно у подножия склонов южной экспозиции), на которых еще не началось образование многолетнемерзлых пород; в) в котловинах термокарстового происхождения - в нижних слоях таликов, сложенных галечниковыми песками или песчаниками, отделенных от верхних водоупорными глинами, суглинками, аргиллитами.

Под современными многолетнемерзлыми породами, образующимися на обсохших частях озерных котловин, качество воды в таликах не удовлетворительное. При этом, чем больше мощность многолетнемерзлых пород, образовавшихся в котловинах, тем выше минерализация и жесткость воды в таликах.

Поскольку в Центральной Якутии происходит весьма интенсивное усыхание озер, здесь преобладают промерзающие подозерные талики, вода которых не отвечает требованиям ГОСТа для употребления на питьевые нужды. Даже при допустимой ГОСТом минерализации (1-1,5 г/л) воды подозерных таликов имеют высокую жесткость (10-20 мг. экв.), обычно превышающую нормативные требования, а иногда и повышенное содержание железа и кишечной палочки. Несмотря на то что по нормам пустынных районов Средней Азии такая вода считается удовлетворительной, в районах Центральной Якутии она может употребляться лишь для водопоя крупного рогатого скота, для которого допустимым пределом минерализации считается 2,4 г/л. Использование воды подозерных таликов для питьевых и хозяйственных нужд населения возможно лишь после улучшения ее качества.

Поскольку в подавляющем большинстве подозерных таликов вода жесткая гидрокарбонатного кальциево-магниевого и натриево-магниевого состава с низкой концентрацией хлоридов и сульфатов, улучшить ее качество можно лишь искусственным снижением жесткости, т.е. умягчением.

Наиболее простым, сравнительно дешевым и надежным методом умягчения воды является известкование, при котором она также и обезжелезивается. Этот метод широко применяется в водоснабжении. Существует несколько видов установок, как стационарных, применяемых в системе водопроводных сооружений, так и передвижных, смонтированных на автомашинах, автоприцепах (Абрамов, 1967). Последние применяются для обслуживания небольших колхозных поселков, ферм, полевых станций.

Другим методом улучшения качества воды подозерных таликов, который можно успешно применять в условиях Якутии, является вымораживание.

Вымораживание воды может проводиться естественным путем в зимний период в озерах или искусственных водоемах глубиной более 1,5 м, в которые сбрасывается вода, откачиваемая из подозерных таликов. Лучшие питьевые качества имеет верхний слой льда толщиной 15-20 см, образующийся наиболее быстро. Содержание солей в нем, в зависимости от минерализации кристаллизующейся воды, изменяется от 0,2 до 0,5 г/л. Лед, снимаемый с водоемов, может быть без труда сохранен на протяжении теплого периода года в подземных траншеях, заглубленных в многолетнемерзлые породы.

Таким образом, при применении двух вышеуказанных методов улучшения качества воды вопрос водоснабжения большинства мелких населенных пунктов Центральной Якутии может быть решен на базе использования подземных вод подозерных таликов.

1. В районах Центральной Якутии, где мощность многолетнемерзлых пород колеблется от 50 до 500 м, довольно широко распространены сквозные и несквозные водоносные талики: подрусловые, присклоновые, подозерные.

Наиболее благоприятные условия для подрусловых таликов — под р. Леной и в нижнем течении ее правобережных притоков, русла которых сложены хорошо фильтрующими песчано-галечниковыми отложениями.

Присклоновые талики встречаются в песчаных отложениях, слогающих склоны озерных котловин и речных террас.

Подозерные талики распространены под большинством озер, в рыхлых аллювиальных отложениях, иногда в трещиноватых известняках и песчаниках. Их мощность варьирует от нескольких до десятков метров.

Подозерные талики большой мощности (50–80 м и более) имеются на правобережной Бестяхской террасе р. Лены и под сравнительно редкими крупными озерными котловинами на Тунгусской и Абалахской террасах. На низких террасах мощность водоносных таликов под узкими вытянутыми старичными озерами обычно не превышает 10–20 м.

Свойственный Центральной Якутии процесс интенсивного обсыхания озерных котловин вызывает уменьшение мощности подозерных таликов вследствие их промерзания.

2. Химический состав и минерализация подземных вод таликов характеризуются значительным разнообразием, связанным с составом водоносных пород и питающих вод, а также с различными условиями водообмена и промерзания таликов.

Химический состав подрусловых вод р. Лены, циркулирующих в хорошо водопроницаемых песчано-галечниковых отложениях, определяется составом питающих их речных вод и изменяется по разрезу русловых отложений в соответствии с сезонными изменениями состава воды в реке. В зимний период, когда минерализация воды в реке повышается до 0,6–0,7 г/л, а в летний состав ее преобладают хлориды и натрий, минерализация подземных вод по разрезу подруслового талика понижается от 0,5 г/л в верхних слоях до 0,3 г/л — в нижнем. Соответственно изменяется и состав воды — от хлоридного натриевого до гидрокарбонатного кальциевого. Летом в верхних слоях подруслового талика, как и в речной воде, минерализация подземных вод понижается до 0,2 г/л, состав их становится хлоридно-гидрокарбонатным кальциево-натриевым.

В подрусловых таликах малых притоков мощностью 10–60 м химический состав подземных вод — гидрокарбонатный кальциево-магниевый при минерализации 0,15–0,25 г/л.

Химический состав воды присклоновых таликов определяется составом питающих их надмерзлотных вод. В солевом составе преобладают гидрокарбонаты кальция и магния. В зимний период, при частом промерзании таликов, в воде увеличивается содержание гидрокарбонатов натрия, а минерализация воды повышается до 0,2–0,3 г/л.

Среди подземных вод подозерных таликов наиболее распространены воды гидрокарбонатного типа с минерализацией от 0,07 до 3 г/л, реже — сульфатного и хлоридного с минерализацией 2,5–5 г/л.

3. Основными факторами, определяющими накопление солей в подземных водах подозерных таликов, являются: 1) отсутствие стока из озера и талика; 2) повышенное содержание воднорастворимых солей в многолетнемерзлых и в сезоннопротаивающих слоях пород; 3) большие размеры озерной котловины и ее водосборной площади; 4) принос солей с питающими подземными и поверхностными водами; 5) интенсивное усыхание озера и последующее промерзание талика.

Неблагоприятными условиями для большого накопления солей в таликах являются проточность озер, сток из талика, наличие в разрезе талика водоупорных слоев, отделяющих верхнюю, интенсивно промерзающую водоносную толщу от нижней.

Наиболее крупные бессточные или утратившие сточность озерные котловины характерны для высоких террас. На Бестяхской террасе, где водосборная площадь котловин сложена хорошо фильтрующими песками, в обогащении подземных вод подозерных таликов солями значительную роль играют надмерзлотные воды сезоннопротаивающих слоев. На Тунгусской и Абалахской террасах, где подозерные талики имеют термокарстовое происхождение, основным источником солей в них являются протаивающие озерно-аллювиальные и покровные суглинки, характеризующиеся повышенным содержанием воднорастворимых солей.

4. Концентрирование солей в подземных водах подозерных таликов начинается в период усыхания озер и связано с повышением минера-

лизации взаимосвязанных с ними озерных вод и иловых растворов, с частичной потерей воды из таликов в результате испарения и транспирации и особенно с откатом солей из промерзающих пород. При этом происходят изменения в солевом составе воды.

5. Изменения в солевом составе воды подозерных таликов связаны, главным образом, с биохимическими процессами, катионным обменом, выпадением отдельных солей в осадок, избирательным поглощением ионов растениями.

В результате десульфатизации, протекающей в верхних слоях подозерных таликов, из раствора исчезают сульфатные ионы, появляется сероводород и повышается щелочность воды. При обменно-адсорбционных процессах, происходящих между раствором и породой, при сдвиге ионного равновесия в илах и на границе с промерзающими слоями пород в водах таликов интенсивно возрастает концентрация гидрокарбонатов магния и натрия, а содержание гидрокарбонатов кальция, наоборот, понижается вследствие кристаллизации. В дальнейшем при повышении щелочности воды выпадают в осадок также гидрокарбонаты магния. Преобладающими становятся карбонаты и хлориды натрия.

В промерзающих таликах под мелководными озерами при отсутствии десульфатизации возможно накопление в воде сульфатов и хлоридов магния.

6. В таликах под термокарстовыми озерами с увеличением минерализации воды состав ее изменяется: на правом берегу — от гидрокарбонатно-магниевого до хлоридно-гидрокарбонатного (карбонатного) натриевого, на левом берегу — от гидрокарбонатного до сульфатного магниевого.

В подозерных таликах Бестяхской террасы с увеличением минерализации воды состав ее изменяется от гидрокарбонатного магниевого до гидрокарбонатного (карбонатного) натриевого.

В изолированных промерзающих подозерных таликах низких террас с увеличением минерализации воды состав ее изменяется от гидрокарбонатного кальциевого до сульфатного и хлоридного магниевого.

В таликах под проточными озерами (особенно при наличии подземного стока) большого накопления солей не происходит. Состав воды в них гидрокарбонатный кальциево-магниевый.

7. Перемещение солей из более минерализованных верхних слоев таликов в глубже расположенные происходит, главным образом, под действием диффузии и конвекционного перемешивания.

8. В таликах, сложенных плоховодными суглинками, перемещение солей из верхних, более минерализованных слоев в нижние

происходит под влиянием диффузии. Вниз по разрезу таких таликов минерализация подземных вод понижается.

В таликах, сложенных песчаными отложениями, минерализация воды в подозерной их части и под обсохшими интенсивно промерзающими участками дна котловин вниз по разрезу уменьшается. При оттаивании многолетнемерзлых пород сверху минерализация воды по разрезу, наоборот, повышается за счет инфильтрации слабominерализованных вод. При этом наиболее низкая минерализация (0,07–0,15 г/л) в верхних слоях таликов отмечается на прибортовых участках за счет подтока ультрапресных надмерзлотных вод.

Указанные изменения в распределении минерализации воды по вертикальному разрезу таликов на разных участках котловин определяют ее неоднородность и по площади.

При минерализации воды более 3 г/л происходит гравитационная дифференциация ее по удельному весу.

В таликах, сложенных переслаивающимися, хорошо- и слабо- водопроницаемыми породами, более высокую минерализацию воды обычно имеют верхние промерзающие слои, тогда как нижние, залегающие под водоупорными суглинками, глинами или аргиллитами, содержат менее минерализованные воды.

9. Общие закономерности формирования химического состава подземных вод таликов и основные виды их гидрохимических разрезов, выявленные в результате комплексных полевых и лабораторных исследований на типичных участках, позволяют провести районирование Центральной Якутии по распространенности, мощности и химическому составу воды таликов.

10. В пределах исследованной территории выделено семь районов (см. рис. 37).

Хорошие питьевые качества воды в I и 3-м районах, в которых распространены подрусловые, присклонные и сквозные подозерные талики. Для всех прочих районов характерны в основном подозерные талики, различающиеся по качеству воды.

В изолированных подозерных таликах наиболее перспективными для водоснабжения горизонтами являются: на низких террасах (2-й район) — нижние слои аллювиальных отложений, представленные средневзвешенными песками русловой фации; на Бестяхской террасе (4-й район) — под обсохшими еще непромерзшими участками, находящимися ближе к борту котловины, — верхние слои аллювиальных песков, до глубины 10–20 м; на Тынгалинской и Абалахской террасах (районы 5-й и 6-й) — нижние слои аллювиальных песков русловой фации или верхние слои неогеновых песков и россыпных песчаников, залегающие под водоупорными аргиллитами, глинами; на аллювиальной равнине

(район 7а и 7б) – неогеновые пески и юрские песчаники, залегающие под слоями водоупорных глин.

II. Необходимо учитывать, что запасы воды указанных водоносных горизонтов ограничены и в процессе эксплуатации иссякают, а качество воды в них ухудшается.

Поскольку в большинстве подзерных таликов воды жесткие, иногда с повышенным содержанием железа, органических веществ и кишечной палочки, при использовании их для водоснабжения требуется искусственное снижение жесткости, а также строгое соблюдение норм санитарной охраны.

Л и т е р а т у р а

- Абрамов Н.Н. Водоснабжение. М., Изд-во литературы по строительству, 1967.
- Абрамова М.М. Передвижение воды при испарении. – Труды Почв. ин-та АН СССР, т. 41. М., Изд-во АН СССР, 1953.
- Алекин О.А. Общая гидрохимия. Л., Гидрометеиздат, 1953.
- Алексеев М.Н. Стратиграфия континентальных неогеновых и четвертичных отложений Вилюйской впадины в долине нижнего течения р. Лены. М., Изд-во АН СССР, 1961.
- Альтовский М.Е. Значение природных условий физико-химических и биохимических процессов в формировании подземных вод. – Труды лабор. гидрогеол. проблем им. акад. Ф.П. Саваренского, т. 16. М., Изд-во АН СССР, 1958.
- Анисимова Н.П. Гидрохимическая характеристика р. Лены в районе пос. Табага Якутской АССР. – Гидрохимические материалы, т. 21. М., Изд-во АН СССР, 1951.
- Анисимова Н.П. Фтор в питьевых водах Центральной Якутии. – Труды сев.-вост. отдел. Ин-та мерзлотоведения, вып. 1. Якутск, 1958.
- Анисимова Н.П. К вопросу о формировании химического состава воды некоторых постоянно действующих источников Центральной Якутии. – В сб.: Условия залегания и свойства многолетнемерзлых пород на территории Якутской АССР, вып. 2. Якутск, 1960.
- Анисимова Н.П. Геотермические исследования в таликах под некоторыми водоемами и водотоками Центральной Якутии. – В сб.: Многолетнемерзлые породы и сопутствующие им явления на территории Якутской АССР. М., Изд-во АН СССР, 1962а.
- Анисимова Н.П. Химический состав воды в подзерных и подрусовых таликах района Лено-Амгинского междуречья Центральной Якутии. – В сб.: Вопросы специальной гидрогеологии Сибири и Дальнего Востока, вып. 1. Иркутское кн. изд-во, 1962б.
- Анисимова Н.П. Химический состав подземных льдов в аллювиальных песках среднего течения р. Лены. – В сб.: Условия и особенности развития мерзлых толщ в Сибири и на Северо-Востоке. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Анисимова Н.П. Температура донных отложений как показатель мощ-

- ности подзерных таликов. - Мат-лы VIII Всесоюз. междувед. совещ. по геокриологии (мерзлотоведению), вып. 3. Якутск, 1966.
- Анисимова Н.П., Чистотина Л.Т. Химический состав озер южной части Лено-Амгинского междуречья. - В сб.: Вопросы географии Якутии. Якутск, 1963.
- Бабаян Г.Д., Бархатов Г.В., Бобров А.Н. и др. Геологическое строение и нефтегазоносность ЯАССР. М., Гостехиздат, 1960.
- Басков Б.А. Подземные воды Якутского артезианского бассейна и некоторые возможности их практического использования. - Труды ВСЕГЕИ, новая серия, вып. 24. Л., 1959.
- Басков Б.А. Основные этапы истории подземных вод Сибирской платформы. Мат-лы по регион. и поиск. гидрогеологии. - Труды ВСЕГЕИ, новая серия, вып. 61. Л., 1961.
- Басков Б.А., Зайцев И.К. Основные черты гидрогеологии Сибирской платформы. Мат-лы по регион. и поиск. гидрогеологии. - Труды ВСЕГЕИ, новая серия, т. 101. Л., 1963.
- Бахман В.И., Ефимов А.И. К вопросу о химическом составе воды и донных отложений некоторых термокарстовых озер Центральной Якутии. - В сб.: Многолетнемерзлые породы и сопутствующие им явления на территории Якутской АССР. М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Бетехтин Н.Г. Минералогия. М., Гостехиздат, 1950.
- Бриханов И.М. К вопросу о геоморфологии лечебного озера Абалах. - Уч. зап. Якутского гос. ун-та, вып. 3. Якутск, 1958.
- Бруевич С.В., Павляин Р.М. и др. О влиянии донных отложений на химизм пресных водоемов. - В сб.: Гидрохимические материалы, т. II. Ростиздат, 1939.
- Бунеев А.Н., Харитонов Л.П. О восстановлении сульфатов в воде краинских источников в атмосфере водорода. - Труды лабор. гидрогеол. проблем им. акад. Ф.П. Саваренского, т. I. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1948.
- Вахрамеев В.А. Стратиграфия и ископаемая флора юрских и меловых отложений Вилуйской впадины и прилегающей части Приверхоянского краевого прогиба. - Региональная стратиграфия СССР, т. 3. М., Изд-во АН СССР, 1958.
- Вельмина Н.А. К вопросу о происхождении замкнутых (аласных) впадин Центральной Якутии. - Изв. АН СССР, серия геол., 1957, № 2.
- Вельмина Н.А. Условия циркуляции подземных вод и типы таликов некоторых районов южной и восточной Якутии. - Труды II Совещ. по подземн. водам и инж. геол. Восточной Сибири, вып. 2. Иркутское кн. изд-во, 1959.
- Вернадский В.И. Избр. соч., т. 1-5. Изд-во АН СССР, 1954-1960.
- Власов Н.А., Павлова Л.И., Чернышев Л.А. Особенности формирования и режима минеральных озер Восточной Сибири. - В сб.: Физико-химический анализ. Новосибирск, Изд-во АН СССР, 1963.
- Власов Н.А., Чернышев Л.А. Химические и физико-химические процессы при замерзании Селенгинского озера. - В сб.: Формирование и геохимия подземных вод Сибири и Дальнего Востока. М., изд-во "Наука", 1967.
- Гаврилова М.К. Климат Центральной Якутии. Якутск, 1962.
- Гаврилова М.К. Тепловой баланс лиственничного леса на Лено-Амгинском междуречье. - В сб.: Гидроклиматические исследования в лесах Сибири. М., изд-во "Наука", 1967.
- Герасимов Н.Н. Годовой ход температур грунта в тайоне Якутска. - В сб.: Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике, вып. 2. М., Изд-во АН СССР, 1950.
- Граве Н.А. Ископаемые льды водораздела рек Лены и Алдана. - Труды Ин-та мерзлотоведения им. В.А. Обручева, т. 4. М., Изд-во АН СССР, 1944.
- Григорьев А.А. Геология, рельеф и почвы северо-западной части Ленско-Алданского плато и Верхоянского хребта. - Мат-лы Комиссии по изучению ЯАССР, вып. 4. М., Изд-во АН СССР, 1926.
- Дадькин В.П. Некоторые опыты по передвижению воды в мерзлой почве. "Почвоведение", 1952, № 4.
- Егоров А.Д. Воды и озера Якутских аласов. Якутск, изд. Пед. ин-та, 1942.
- Егоров А.Д., Намчинов А.Г. Материалы по гидрохимической характеристике водоемов Центральной Якутии. - В кн.: Материалы о природных условиях и сельском хозяйстве Центральной Якутии. М., Изд-во АН СССР, 1954.
- Еловская Л.Г. Химический состав кормовых растений Якутии в связи с почвенными условиями. - Труды Ин-та биологии, вып. I. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1955.
- Еловская Л.Г. Динамика солей в засоленных почвах Центральной Якутии. - Труды конф. почвов. Сибири и Дальнего Востока. Новосибирское кн. изд-во, 1964.
- Еловская Л.Г., Коноровский А.К., Саввинов Д.Д. Мерзлотные засоленные почвы Центральной Якутии. М., изд-во "Наука", 1966.
- Ефимов А.И. Якутский артезианский бассейн подмерзлотных вод. - Изв. АН СССР, серия геол., 1945, № 4.
- Ефимов А.И. Высыхание термокарстовых озер в Центральной Якутии. - Мерзлотоведение, т. I, вып. 2. М., Изд-во АН СССР, 1946.
- Ефимов А.И. К вопросу о развитии термокарстовых озер в Центральной Якутии. - В сб.: Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике, вып. 2. М., Изд-во АН СССР, 1950.
- Ефимов А.И. Незамерзающий пресный источник Улахан-Тарын в Центральной Якутии. - В сб.: Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике, вып. 3. М., Изд-во АН СССР, 1952а.

- Ефимов А.И. Некоторые результаты трехгодичных наблюдений за температурой грунтов в районе г.Якутска. - В сб.: Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике, вып. 3. М., Изд-во АН СССР, 1952б.
- Ефимов А.И. Мерзлотные условия Центральной Якутии. - В сб.: Материалы о природных условиях и сельском хозяйстве Центральной Якутии, вып. 1. М., Изд-во АН СССР, 1954.
- Ефимов А.И. Мерзотно-гидрогеологические особенности прибрежного и руслового участков р.Лены в районе г.Якутска. - В сб.: Геокриологические условия Западной Сибири, Якутии и Чукотки. М., изд-во "Наука", 1964.
- Зольников В.Г. Рельеф и почвообразующие породы восточной половины Центральной Якутии. - В кн.: Материалы о природных условиях и сельском хозяйстве Центральной Якутии. М., Изд-во АН СССР, 1954а.
- Зольников В.Г. Почвы восточной половины Центральной Якутии, их использование. - В кн.: Материалы о природных условиях и сельском хозяйстве Центральной Якутии. М., Изд-во АН СССР, 1954б.
- Калабин А.И. Вечная мерзлота и гидрология северо-востока СССР. Магадан, Изд-во ВНИИ-1, 1960.
- Качурин С.П. Вечная мерзлота на Лено-Вилуйском водоразделе. - В сб.: Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике, вып. 2. М., Изд-во АН СССР, 1950.
- Качурин С.П. Термокарот на территории СССР. М., Изд-во АН СССР, 1961.
- Ковда В.А. Процессы современного соленакопления (галогенеза) в почвах и водах. - "Почвоведение", 1947, № 11.
- Колодяжная А.А. Атмосферные осадки как источник поступления водорастворимых солей на сушу. - Труды лабор. гидрогеол. проблем им. акад. Ф.П.Саваренского, т. 36. М., Изд-во АН СССР, 1961.
- Комарова Н.А. Вытеснение почвенных растворов методами замещения жидкостями и использование метода в почвенных исследованиях. - Труды Почв. ин-та АН СССР, т. 51. М., Изд-во АН СССР, 1956.
- Кондаков А. Опыт физико-химического обследования озер Абалах, Туранах и Ламы. - Изв. Якутского отд. РГО, т. 2, 1928.
- Коворовский А.К. Динамика солевого состава почвенных растворов лугово-черноземных почв долины р.Лены. - В сб.: Почвы долин рек Лены и Алдана. Якутск, 1965.
- Коржув С.С. Геоморфология долины средней Лены и прилегающих районов. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Косолапов А.И. Геохимические исследования природных вод и газов Западной Якутии. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Узнецов С.И. Роль микроорганизмов в круговороте веществ в озерах. М., Изд-во АН СССР, 1952.
- Виксимов В.М., Толстихин Н.И. К вопросу о гидрогеологических условиях окрестностей Якутска. - Докл. АН СССР, новая серия, 1940, т. 28, № 1.
- Зельников П.И. Вечная мерзлота в районе Якутска. - В сб.: Исследования вечной мерзлоты в Якутской республике, вып. 2. М., Изд-во АН СССР, 1950.
- Зельников П.И. О закономерностях распространения и развития мерзлых почв и горных пород в бассейне р.Лены. - Мат-лы VI совещания по мерзлотоведению. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Зельников П.И. О наличии многолетнемерзлых горных пород под реками и озерами на территории Якутской АССР. - В сб.: Современные вопросы региональной и инженерной геокриологии. М., изд-во "Наука", 1964.
- Зельников П.И., Ефимов А.И. Опыт эксплуатации подземных вод в области распространения вечной мерзлоты Центральной Якутии. М., Изд-во АН СССР, 1953.
- Иощанский В.А., Мулина А.В. О некоторых закономерностях формирования температурного режима в долинах рек на территории Якутской АССР. - В сб.: Мерзлотные исследования, вып. 2. Изд-во МГУ, 1961.
- Нагель А.А. Материалы к изучению озер Якутской АССР. - Изв. гос. географ. об-ва, 1939, т. 71, вып. 9.
- Некрасов И.А. К вопросу о классификации таликов. - Изв. ВГО, 1963, т. 95, № 2.
- Орловский Н.В. Исследования по генезису, содовому режиму и мелиорации солонцов и других засоленных почв Барабинской низменности. - Труды Почв. ин-та АН СССР, т. 47. Изд-во АН СССР, 1955.
- Орловский Н.В. Особенности генезиса и освоения содовых засоленных почв Сибири. - "Агрохимия", 1964, № 9.
- Поздняков Л.К. Гидроклиматический режим лиственных лесов Центральной Якутии. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Полынов Б.Б. Руководящие идеи современного учения об образовании и развитии почв. "Почвоведение", 1948, № 1.
- Полынов Б.Б. Об изменении растворов при капиллярном поднятии. Избр. труды. М., Изд-во АН СССР, 1956.
- Попов А.И. История вечной мерзлоты в СССР в четвертичный период. - "Вестник МГУ", 1957, № 3.
- Посохов Е.В. Гидрохимия. Изд-во Ростовского ун-та, 1965.
- Приклонский В.А. Некоторые закономерности формирования грунтовых вод в засушливых областях. - Труды лабор. гидрогеол. проблем им. акад. Ф.П.Саваренского, т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1948.

- Щуцаровский Ю.М. О тектоническом строении Приверхоянского краевого прогиба. - Изв. АН СССР, серия геол., 1955, вып. 5.
- Рубенчик Л.И. Сульфатредуцирующие бактерии. М., Изд-во АН СССР, 1947.
- Светозаров И.М. Гидрогеология вечной мерзлоты по материалам исследований в районе г. Якутска. - "Проблемы советской геологии", 1984, № 10.
- Семенович Н.И. Лимнологический очерк группы озер Центральной Якутии. - Исследование озер СССР, вып. 8. Л., Изд-во Гос. гидрологич. ин-та, 1935.
- Соловьев П.А. Геотермическая характеристика аласного термокарстового ландшафта междуречья рр. Лены и Амги. - В сб.: Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике, вып. 2. М., Изд-во АН СССР, 1950.
- Соловьев П.А. Криолитовая северной части Лено-Амгинского междуречья. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Соловьев П.А. Аласный рельеф Центральной Якутии и его происхождение. - В сб.: Многолетнемерзлые породы и сопутствующие им явления на территории Якутской АССР. М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Справочник химика. т. I. Л.-М., Госхимиздат, 1952.
- Страхов Н.М., Бродская Н.Г. и др. Образование осадков в современных водоемах. М., Изд-во АН СССР, 1954.
- Сумгин М.И. Вечная мерзлота почв в пределах СССР. Изд. 2-е. М., Изд-во АН СССР, 1937.
- Сумгин М.И. Перспективы изучения вечной мерзлоты в Якутской республике. ЯГИЗ, 1942.
- Сумгин М.И., Качурин С.П., Толстихин Н.И., Тумель В.Ф. Общее мерзлотоведение. М., Изд-во АН СССР, 1940.
- Тектоническое строение Якутской АССР. М., изд-во "Наука", 1964.
- Толстихин Н.И. Подземные воды мерзлой зоны литосферы. М.-Л., Госгеолгиздат, 1941.
- Толстихин Н.И., Максимов В.М. Якутский артезианский бассейн. - Зап. ЛГИ, т. 31. Углетехиздат, 1954.
- Толстихин О.Н., Хирков Е.Е., Анисимова Н.П. и др. Подземные воды Якутии как источник водоснабжения. М., изд-во "Наука", 1967.
- Тютюнов И.А. Некоторые закономерности физико-химического изменения и дифференциации водостойного состава почвы при промерзании. - Труды I Сибирской конф. почвоведов. Красноярск, 1962.
- Тютюнов И.А., Нерсесова З.А. Природа миграции воды в грунтах при промерзании и основы физико-химических приемов борьбы с пучением. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Филиппов А.И. Просачивание талых вод в почву в период снеготаяния. - Труды Гос. гидрогеолог. ин-та, вып. 48. Л., 1955.
- Феботарева Н.С., Куприна Н.П., Хореза И.М. Геоморфология и стратиграфия четвертичных отложений среднего течения Лены и низовий Алдана. - Изв. АН СССР, серия геогр., 1957, № 3.
- Чистотинова Л.Т. Химический состав атмосферных осадков некоторых районов Центральной Якутии. - В сб.: Вопросы географии Якутии, вып. 3. Якутск, 1963.
- Чистяков Г.Е. Водные ресурсы рек Якутии. М., изд-во "Наука", 1964.
- Чашко Д.И. Зависимость скорости транспирации от увлажнения почвы и ее вида. - "Метеорология и гидрология", 1940, № 10.
- Чвцов П.Ф. Закономерности гидрогеотермических процессов на Крайнем Севере и Северо-Востоке СССР. М., изд-во "Наука", 1968.
- Чрабштейн З.Г. Использование подмерзлотных вод для водоснабжения на Лено-Амгинском междуречье. - Труды совещ. по подземн. водам и инж. геол. Восточной Сибири. Иркутское ин. изд-во, 1959.
- Шумский П.А. Исследование ископаемых льдов Центральной Якутии. - В сб.: Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике, вып. 3. М., Изд-во АН СССР, 1952.
- Шумский П.А. Подземные льды. - В кн.: Основы геокриологии (мерзлотоведения). Общая геокриология. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Шербаков И.П. Типы леса Южной Якутии. М., изд-во "Наука", 1964.

<u>Введение</u>	3
-----------------------	---

Глава I. Природные условия района

Основные черты рельефа	7
Растительный покров	10
Геологическое строение	11
Климат	15
Гидрологические особенности	16
Геокриологические условия	23
Температура пород в подзерных таликах	36

Глава II. Подземные воды

Подземные воды четвертичных и неогеновых отложений	52
Подземные воды нижнемеловых отложений	72
Подземные воды нижнеюрских отложений	72
Подземные воды отложений среднего кембрия	76

Глава III. Химический состав протавящих пород и вод, питающих талики

Воднорастворимые соли пород	80
Химический состав атмосферных осадков	99
Химический состав надмерзлотных вод сезонно-протавящих слоев пород	101
Химический состав речных вод	108
Химический состав озерных вод и иловых растворов	114

Глава IV. Формирование химического состава воды в таликах

Концентрирование растворенных солей в водах подзерных таликов	145
Изменения химического состава воды таликов ..	147

Глава V. Районирование территории по распространенности, мощности и составу воды таликов

<u>Заклучение</u>	182
-------------------------	-----

<u>Литература</u>	187
-------------------------	-----

Няна Петровна Анисимова

Формирование химического состава
подземных вод таликов

Утверждено к печати ордена Трудового Красного Знамени
Институтом мерзлотоведения
Сибирского отделения Академии наук СССР

Редактор Н.А.Платов

Подписано к печати 13/XI 1970 г.

Формат 60х90 1/16

Усл.печ. 12,25 Уч.изд.л. 12,22

Тираж 750 экз. Бум. № 2

Т-17625 Тип.зак. 1345

Цена 1 р. 22 к.

Книга издана

машинно-офсетным способом

Издательство "Наука"

Москва, К-62, Подсосенский пер., д. 21

1-я тип. издательства «Наука».

Ленинград, В-34, 9 линия, д. 12