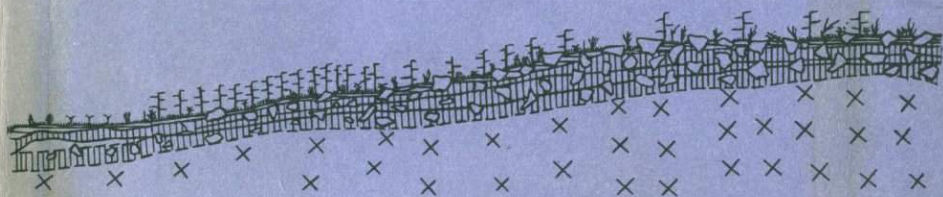


Академия наук
СССР



И. Б. НИКИТИНА

ГЕОХИМИЯ
УЛЬТРАПРЕСНЫХ ВОД
МЕРЗЛОТНЫХ
ЛАНДШАФТОВ



Издательство · Наука ·



Академия наук СССР
Институт геологии
рудных месторождений,
петрографии, минералогии
и геохимии

И. Б. НИКИТИНА
ГЕОХИМИЯ
УЛЬТРАПРЕСНЫХ ВОД
МЕРЗЛОТНЫХ
ЛАНДШАФТОВ

2302



Издательство
«Наука»
Москва
1977



И.Б. Н и к и т и н а. Геохимия ультрапресных вод мерзлотных ландшафтов (на примере Алданского нагорья). "Наука", 1977, с. 148.

В книге обобщены результаты экспедиционных и лабораторных исследований, выполненных автором на территории Алданского щита в составе Ландшафтно-геохимической группы ИГЕМ АН СССР.

В работе охарактеризованы геохимические особенности таежно-мерзлотных ландшафтов и формирующихся на их территории вод. Характеристика вод дана по широкому спектру физико-химических параметров; изучены состав водного гумуса и формы миграции элементов. Даны практические рекомендации по гидрогеохимическим методам поисков в районах распространения многолетнемерзлых пород.

Табл. 49, библи. 230 назв., ил. 24.

Ответственный редактор

доктор геолого-минералогических наук

А.И. ПЕРЕЛЬМАН

ПРЕДИСЛОВИЕ

Ультраосновные воды весьма широко распространены на территории Сибири, особенно в районах развития многолетней мерзлоты. В последние годы на этих территориях стали интенсивно проводиться гидрогеохимические поиски с целью повышения эффективности глубинных поисков скрытых оруденений, особенно на залесенных и заболоченных площадях (Тузова, 1961; Нечаев, Боровицкий, 1962; Кожара, 1963, 1964; Шварцев, 1963, 1965; Косолапова, Косолапов, 1962; Макаров, 1966; Чибисов, 1966; Салье, 1965; Филимонова, 1969; Иванова и др., 1974; и др.). Однако недостаточная изученность основных геохимических свойств маломинерализованных вод создает ряд трудностей, а зачастую влечет и ошибки при интерпретации результатов подобных работ.

К нерешенным вопросам геохимии ультрапресных вод относятся следующие.

Отсутствие достоверных результатов по содержанию многих элементов из-за низкого качества существующих методов анализа и особенно спектрального. Недостаточность шестикомпонентного анализа с определением суммы щелочей по разности.

Затруднительное определение ряда элементов и снижение их процентного содержания в сухом остатке, вследствие наличия большого количества растворенных органических веществ, значительно превышающих сумму минеральных компонентов.

Неизученность форм миграции элементов.

Отсутствие четких принципов классификации ультрапресных вод.

Изменение геохимических свойств этих вод в зависимости от природной обстановки.

Детальное изучение этих вопросов и закономерностей водной миграции элементов в условиях вечной мерзлоты может повысить эффективность гидрогеохимических методов поисков и явиться неотъемлемым звеном в разработке теоретических основ этого метода.

Задачами настоящего исследования являлись:

1. Изучение геохимических свойств ультрапресных вод и изменения этих свойств в зависимости от ландшафтно-геохимической обстановки.
2. Определения качественного и количественного состава водорастворимого органического вещества.
3. Установление форм миграции типоморфных элементов.

Эти задачи были поставлены в связи с изучением миграции компонентов в зоне гипергенеза с целью повышения эффективности геохимических методов поисков в центральной части Алданского нагорья (Алдано-Тимптонское междуречье). Главной теоретической основой этих исследований послужили принципы и методы геохимии ландшафта.

В соответствии с этими принципами наименьшей структурной единицей является элементарный ландшафт, который, согласно Б.Б. Польнову, представляет ограниченный по площади участок земной поверхности, сложенный одной горной породой, почвой, растительной группировкой. Сочетание элементарных ландшафтов, приуроченных к одному элементу рельефа и связанных миграцией атомов, называется геохимическим сопряжением ландшафтов (Польнов, 1946; Перельман, 1961, 1966). В результате процессов, происходящих одновременно в автономных ландшафтах (водоразделах) и подчиненных ландшафтах (долины ручьев), формируется химический состав поверхностных вод, дренирующих геохимическое сопряжение ландшафтов.

Изучение гипергенной миграции химических элементов с позиций геохимии ландшафта дает возможность привязать данные геохимического опробования к однородным природным обстановкам и интерпретировать эти данные с учетом различий в характере ореолов рассеяния, развивающихся в разных ландшафтах.

В основу работы положены исследования, проведенные автором на Алданском нагорье с 1962 по 1967 г. в составе Геохимического отряда ИГЕМ АН СССР под научным руководством доктора геолого-минералогических наук А.И. Перельмана. По заказу Южно-Якутской комплексной экспедиции в 1964—1965 гг. отряд занимался составлением ландшафтно-геохимической карты Алдано-Тимптонского междуречья. В работе отряда принимали участие: аспирант Отдела геохимии ИГЕМ АН СССР В.Л. Кожара, мл. научный сотрудник ИГЕМ АН СССР Л.Г. Филимонова, сотрудники Центральной химической лаборатории ИГЕМ — Л.П. Царева, Е.М. Нактинас, В.И. Павлуцкая, В.А. Волченкова, а также сотрудники Почвенного института им. Докучаева — Н.И. Белоусова, З.С. Караева, И.А. Соколов. В работе использован также материал по общему описанию ландшафтов, коренных пород и почв.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МИГРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРЕСНЫХ ВОДАХ

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД РАЙОНОВ РАЗВИТИЯ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

Формирование химического состава вод районов многолетней мерзлоты непосредственно связано с криогенезом. Последний представляет совокупность процессов физического, химического биохимического изменения верхней толщи литосферы и формирование гидросферы при отрицательных температурах.

Работами И.А. Тютюнова (1960, 1961) показано, что преобразование горных пород в этих условиях происходит под воздействием тонких водяных пленок, адсорбированных поверхностью горных пород и минералов и незамерзающих даже при очень низких температурах. Доказано, что эта незамерзающая часть воды находится в постоянном движении. Движущей силой миграционного процесса И.А. Тютюнов считает разность химических потенциалов взаимодействующих фаз криогенной системы. Миграция воды происходит на границе раздела твердой и жидкой фаз. Сущность процесса взаимодействия твердых частиц с водой (по И.А. Тютюнову) заключается в следующем:

- 1) образовании двойного поверхностного слоя;
- 2) переходе двойного поверхностного слоя в упругонапряженное состояние, обусловленное взаимным притяжением ионов и молекул;
- 3) аккумуляции в этом слое некоторого количества энергии;
- 4) переходе адсорбированной воды на более высокий энергетический уровень.

Этот исследователь сформулировал принцип, которому подчиняются процессы в коре выветривания: скорость химических процессов в зоне гипергенеза, в том числе и в мерзлой зоне литосферы, пропорциональна степени сгущения потенциальной поверхностной энергии и концентрации веществ, участвующих во взаимодействии (Тютюнов, 1961).

Находящиеся в постоянном движении тонкие водные пленки осуществляют разрушение, растворение и выщелачивание горных пород, вынос и перераспределение химических элементов, образование новых соединений в толще мерзлых пород. Так, С.Л. Шварцев (1963) обнаружил, что химические составы льда и подмерзлотных вод, формирующихся на этих участках, очень близки между собой. Это свидетельствует о том, что химическое разрушение горных пород обуславливает обогащение

подмерзлотных вод. Однако вынос продуктов разрушения криолитозоны чрезвычайно затруднен и осуществляется главным образом в верхних горизонтах многолетнемерзлых пород и по зонам таликов.

На формирование химического состава вод деятельного слоя существенное влияние оказывает восходящее движение пленочной воды верхней части мерзлых пород. Благодаря этому деятельный слой в течение зимы обогащается химическими элементами, которые весной в период таяния интенсивно выносятся гравитационными водами. Затрудненный же водообмен в толще мерзлых пород способствует накоплению химических элементов.

С.Л. Шварцев (1963) для районов распространения многолетней мерзлоты предложил следующую гидрогеохимическую зональность, отличную от районов с положительной температурой.

1. Зона активного водообмена (деятельный слой): большое количество атмосферных осадков, ограниченные возможности циркуляции, небольшое испарение и переувлажнение способствуют формированию ультраосновных вод.

2. Зона затрудненного водообмена совпадает по распространению с зоной многолетнемерзлых пород и характеризуется преобладанием твердой фазы над жидкой и своеобразием физико-химических процессов, происходящих под действием миграционного эффекта. Эта зона характеризуется высоким содержанием химических элементов в водах, что связано с весьма затрудненным водообменом.

3. Зона замедленного водообмена располагается ниже многолетнемерзлых пород. Для этой зоны характерны подмерзлотные воды, основным фактором формирования химического состава которых является характер структурно-геологических условий.

Как показали работы З.А. Нерсесовой (1957) и И.А. Тютюнова (1960, 1961), при отрицательных температурах весьма интенсивно протекают также реакции ионного обмена и окислительно-восстановительные процессы. Наиболее активны эти процессы на участках зон сульфидной минерализации, где они усиливаются современными процессами окисления сульфидных руд в толще мерзлых пород и в деятельном слое. Эти процессы способствуют обогащению вод микрокомпонентами и обуславливают применение гидрогеохимического метода поисков в условиях развития криолитозоны (Шварцев, 1965).

О.П. Ивановым (1966) было установлено, что в зоне сульфидных орудений в районах развития многолетней мерзлоты протекают экзотермические реакции окисления сульфидов. Таким образом, при наличии жидкой фазы, свободной к миграции, отрицательная температура сама по себе не является препятствием для химических реакций, идущих с выделением тепла.

Алданское нагорье, характеризующееся значительным количеством осадков и относительно благоприятными условиями водообмена, является территорией, в пределах которой процессы химического выветривания проявляются довольно отчетливо, несмотря на сравнительно суровые климатические условия. Об этом свидетельствуют минерализация вод неглубокого стока, которая на алюмо-силикатных породах достигает 30–80 мг/л.

Общие закономерности формирования химического состава пресных вод Адданского района, структурно-геологические, гидрогеологические и геоморфологические условия, мерзлотная обстановка, литологопетрографический состав водовмещающих пород выявлены при проведении мерзлотной гидрогеологической съемки сотрудниками МГУ. Исследования показали, что в условиях распространения слабо-трещиноватых скальных пород и значительных скоростей фильтрации подземных вод отсутствуют предпосылки для формирования вод высокой минерализации (Всеволожская, 1966).

Полученные М.А. Всеволожской (1973) данные свидетельствуют об определенной зависимости между составом водовмещающих метаморфических и магматических пород и химическим составом циркулирующих в их коре выветривания вод.

Формирование подземных вод неглубокого стока, согласно этим исследованиям, происходит в основном за счет процессов инфильтрации атмосферных осадков. Инфильтрации способствуют развитие тектонических зон дробления, наличие трещиноватой коры выветривания, грубо-обломочный состав рыхлого покрова. Отмечается также, что многолетнемерзлые породы оказывают влияние на формирование вод и их динамику лишь в верхней части гидрогеологического разреза территории до уровня регионального вреза (Чижов, 1964, Чижов, Кондратьева и др., 1964; Кондратьева, Кудрявцев и др., 1967).

Надмерзлотными водами, согласно упомянутым исследованиям, считаются воды, для которых нижним водоупором служит верхняя поверхность многолетнемерзлых пород, безнапорные, имеющие короткие пути фильтрации. Подмерзлотными водами — воды, залегающие под нижней границей многолетнемерзлых пород и непосредственно контактирующие с ними. Этими же исследователями подробно описано формирование и распространение водоносных комплексов докембрия и нижнекембрийских отложений, выделены воды верхней трещиноватой зоны и воды аллювиальных отложений. Причем отмечается, что в области развития нижнекембрийских карбонатных пород аллювиальные отложения часто оказываются безводными из-за карстовых процессов.

Водоупором для вод элювиальных и делювиальных отложений на талых участках служат сезонномерзлые или слабоводопроницаемые коренные породы. На участке распространения многолетнемерзлых пород эти воды являются надмерзлотными и существуют в слое сезонного протаивания. Разгрузка происходит по склонам, часто по границе с многолетнемерзлыми породами, наиболее активно в первой половине лета. К концу лета при полном протаивании сезонномерзлого слоя надмерзлотные воды просачиваются вглубь и увлажненность поверхности на таких участках резко снижается. Период существования этих вод в отложениях кембрия значительно короче.

Воды верхней трещиноватой зоны на талых участках подчиняются закономерностям грунтовых вод. Они разгружаются в нижних частях склонов, сложенных коренными породами. Места разгрузки часто приурочены к пересечению долин зонами тектонических нарушений. Режим и характер циркуляции этих вод в нижнекембрийских отложениях, в отли-

чие от остальных районов, почти не зависит от мерзлотных условий и определяется в основном степенью и распространением трещин и зон дробления в породах.

ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА ПРЕСНЫХ ВОД

Органическое вещество природных вод — один из главных геохимических факторов, придающих водам то своеобразие, которое отличает природные растворы от обычных в понимании химика водных растворов. Особенно большое значение приобретает это положение для ультрапресных вод, в которых содержание органических веществ в несколько раз превосходит содержание минеральных.

Изучение этого весьма сложного объекта было начато в конце XIX столетия, и уже в начале девятисотых годов были получены весьма интересные результаты. Так, в 1908 г. Ашан (Aschan, 1908) определил элементарный состав органического вещества окрашенных вод рек и озер Финляндии. В 1933 г. Олем (Ohle, 1933) были обнаружены в озерной воде метаксильные группы $\text{CH}_3\text{-O-}$, что позволило предположить наличие в воде растворенных гуминовых кислот или их солей. Тогда же С.В. Бруевич (Бруевич и др., 1933) высказал мнение, что основная часть азотистых соединений, входящих в состав водорастворимого органического вещества, представляет собой продукт распада белков растительного и животного происхождения.

В 1947 г. Б.А. Скопинцев ввел понятие кислородного эквивалента, т.е. того количества кислорода, которое необходимо для полного окисления единицы органического вещества. Этот коэффициент характеризует явления, связанные с процессами окисления органического вещества природных вод.

Наиболее подробно вопросы изучения органического вещества рассмотрены в монографии Б.А. Скопинцева (1950). Основные научные положения этой работы сводятся к следующим: 1) $\text{C}_{\text{орг}}$ в органическом веществе поверхностных вод составляет 50%, поэтому $\text{C}_{\text{орг}}$ · 2 соответствует общему количеству органического вещества; 2) между кислородом окисляемости, $\text{C}_{\text{орг}}$ и общим содержанием органического вещества в водах существуют определенные соотношения, значения которых меняются в зависимости от происхождения органического вещества; 3) отношение $\text{C} : \text{N}$ может быть использовано для генетической характеристики органического вещества природных вод; 4) органическое вещество поверхностных вод, "водный гумус", вероятно, представляет собой комплексное соединение углеводо-протеинового и лигнино-протеинового характера почвенного или планктонного происхождения, характеризующееся высокой биохимической устойчивостью.

Почвенный гумус, химический состав которого успешно изучается почвоведом, является основным источником пополнения поверхностных вод органическими веществами. В его состав входят вещества, относящиеся к известным в органической химии классам: белки и продукты их

распада, углеводы, жиры и др. Более 80% почвенного гумуса составляют сложные полифункциональные соединения, закономерности выделения которых из почв объединяют их в особую группу гумусовых веществ, состоящих из гуминовых кислот, фульвокислот и гуминов. Среди специфических компонентов почвенного гумуса хорошо растворимы в воде (придают ей желтую окраску) фульвокислоты, их соли, соли гуминовых кислот. Сами гуминовые кислоты растворимы мало, скорее они пептизированы (придают воде желто-бурую окраску). В достаточной степени растворимы (для гуминовых кислот — пептизированы) магниевые соли и соли закиси железа и фульвокислот; соли кальция растворимы (пептизированы) хуже (Скопинцев, 1950).

Почвенный гумус — это источник пополнения вод углеводами (моно- и дисахаридами) и такими кислородными ароматическими соединениями, как фенолы, хиноны и родственные им вещества, образовавшиеся из лигнинов и дубильных веществ и играющие важную роль в биологических системах. Почвенные органические вещества в целом, а также фенолы, хиноны, их производные, а кроме того, основные процессы их изменения наиболее полно рассмотрены М.М. Кононовой (1963).

По данным ряда исследователей (Ваксман, 1937; Одинцов, 1912; Трусов, 1917), общее количество водорастворимых органических соединений в разлагающихся растительных остатках больше, чем в свежем материале. В анаэробных условиях при промывании водой разлагающегося материала выход воднорастворимых органических соединений больше, окраска растворов выше, накопление кислых продуктов идет интенсивнее. Это объясняется тем, что в анаэробных условиях процессы распада идут медленнее, а это приводит к накоплению промежуточных легкоподвижных органических соединений.

Процессы выщелачивания, минерализации, окисления, трансформации органических веществ почв являются ведущими факторами образования и формирования органических веществ воды. Важная роль здесь принадлежит микроорганизмам. Содержание гумусовых веществ в реках СССР составляет десятки и сотни мкг/л (Семенов, 1967).

Исследуя органическое вещество р. Невы, В.В. Пономарева и А.И. Эттингер (1954) установили, что оно состоит из биохимически устойчивых, низкоокисленных, высокомолекулярных кислот, из которых на долю креновых кислот приходится 90%, 6,1% составляют гуминовые кислоты и 4,4% — апокреновые.

Формула выделенных в 1957 г. Шапиро для озерных вод штата Коннектикут (США) окрашенных в желтый цвет органических кислот соответствовала $C_{50}H_{62}O_2N$ (Shapiro, 1957).

По А.В. Фотиеву (1971), формула фульвокислот, выделенных из воды Рыбинского водохранилища — $C_{40}H_{54}O_{28}N$, креновой кислоты — $C_{17}H_{36}O_{16}N$, а апокреновой — $C_{38}H_{44}O_{30}N$.

Применяя почвенные методы исследования органического вещества для изучения водного гумуса речных вод северных районов СССР, П.П. Воронков и О.К. Соколова (1950) нашли, что 66–74% органических веществ составляют коллоиднорастворенные фульвокислоты; 12–17% — истинно-

растворенные вещества и 6–9% — ульминовые кислоты. Гуминовые кислоты обнаружены не были.

М.А. Шевченко и П.Н. Таран (1963), исследуя элементарный состав водного гумуса, фульвокислот, воздерживаются от вывода о химической индивидуальности креновой и апокреновой кислот. Однако авторы считают несомненным наличие в водном гумусе кислот, объединяющихся в две группы, четко отличающиеся элементарным составом и окисляемостью.

Относительное содержание фульвокислот и гуминовых кислот в водах разных районов может быть различно, что сказывается на поведении в водах металлов (Солодовникова, 1967).

С.В. Горюнова (1952, 1954), применив метод отгонки с водяным паром, определила в озерной воде высокомолекулярные жирные кислоты в количестве 8–13 мг/л. Были выделены также полисахариды. Все обнаруженные автором в воде индивидуальные органические соединения составили немногим больше половины общего содержания органических веществ.

О.Б. Максимовым с сотрудниками (Максимов и др., 1972) при изучении продуктов окислительного распада гуминовых кислот было установлено наличие 2-, 3- и 4-основных ароматических карбоновых и оксикарбоновых кислот, которые составляют основную массу идентифицированных компонентов водорастворимых веществ. Эти соединения относятся к наиболее сильным органическим кислотам ($pK = 2-3$) и являются сильными комплексообразователями.

Особенно следует отметить работы Новочеркасского гидрохимического института, где по вопросу изучения органического вещества поверхностных вод были получены интересные, ценные результаты. Авторы ряда работ перешли от таких косвенных показателей, как окисляемость, к выделению и идентификации различных групп (классов) воднорастворимых органических веществ. Так, А.Д. Семеновым с соавторами (1963) и И.Н. Ивлевой с соавторами (1964) в водах Веселовского, Куйбышевского, Горьковского и других водохранилищ были определены редуцирующие сахара, количество которых колеблется от 20 до 360 мкг/л.

А.Д. Семеновым и В.А. Брызгалю (1964, 1966) путем выделения на ионитах и потенциометрического титрования спиртоэфирных растворов определено содержание органических кислот и сложных эфиров в реках и водохранилищах.

В 1966 г. И.А. Гончаровой методом газо-жидкостной хроматографии в реках СССР были обнаружены уксусная, пропионовая, масляная и в небольшом количестве капроновая и янтарная кислоты. Заслуживает также внимания работа А.Н. Хоменко и И.А. Гончаровой (1971) о составе органических кислот, растворенных в поверхностных водах.

В Новочеркасском гидрохимическом институте был разработан метод определения летучих ароматических и алифатических аминов (Немцева и др., 1964), содержание которых в водах водохранилищ составило от 40 до 178 мкг/л $N_{орг}$. В речных водах присутствуют лишь первичные, вторичные и третичные алифатические амины. Ароматические и высокомолекулярные амины не были обнаружены (Семенов, 1967). Там же

(Семенов и др., 1964) получены инфракрасные спектры гуминовых кислот природных вод Ростовской области, и сделан вывод об их идентичности со спектрами почвенных и торфяных гуминовых кислот.

Ценный вклад в изучение органического вещества природных вод внесен группой сотрудников ВСЕГИНГЕО под руководством В.М. Швеца и Е.Л. Быковой. Проведенные ими исследования позволили дать оценку органических веществ подземных и поверхностных вод, выяснить некоторые закономерности его распространения. Результаты исследований широко освещены в соответствующих отчетах и публикациях (Быкова, 1961; Альтовский и др., 1962; Дудова, 1963; Швец, 1961; Быкова и др., 1971). Был разработан ряд методов определения и идентификации отдельных групп органических веществ. Многие из этих методов применены автором данной работы. Используя метод адсорбционной хроматографии, Г.М. Варшал с сотрудниками определили состав органических веществ речных вод бассейна Москвы-реки.

Некоторые данные по распределению и особенностям органических веществ (определялись перманганатная окисляемость, $S_{орг}$ и цветность) в речных водах тундровой зоны представлены в работе М.П. Смирнова (1972).

Состав органических веществ, содержащихся в водах, чрезвычайно сложен и разнообразен. Среди них имеются вещества с известным строением и свойствами, подчиняющиеся классификации, принятой в органической химии. Но присутствуют и соединения, своеобразии природы которых не позволяет отнести их ни к одному из существующих в органической химии классов. Весьма детальное описание органических веществ поверхностных вод представлено в обобщающей работе А.Д. Семенова (1967).

Однако работ по количественному и качественному составу органических веществ ультрапресных вод чрезвычайно мало. Сюда могут быть отнесены работы по водам Карельского перешейка (Воронков, Соколова, 1950, 1951), а также работы Е.Л. Быковой и И.Б. Никитиной (1964, 1966) по органическому веществу ультрапресных вод Южной Якутии.

Изложенные далеко не полные сведения показывают, что в результате проведенных главным образом советскими гидрохимиками исследований в области познания органических веществ природных вод достигнуты немалые успехи.

ФОРМЫ МИГРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

Формы нахождения химических элементов в природных растворах определяются внутренними и внешними факторами. К внутренним факторам относятся химические свойства самого элемента: порядковый номер, атомный вес, поляризация, валентность, величины ионного радиуса и ионного потенциала, способность образовывать соединения различной растворимости. В.М. Гольдшмидт (1938), придавая решающее значение величине ионного потенциала, объясняет исключительно этим показателем

различные пути миграции элементов в зоне гипергенеза, в том числе и в поверхностных водах.

Внешние факторы, т.е. обстановка миграции: температура, щелочно-кислотные условия, окислительно-восстановительные условия, присутствие других элементов и соединений, их концентрации и др.

А.И. Перельман (1966) выделяет шестнадцать основных классов водной миграции элементов в зоне гипергенеза в зависимости от внешних факторов и соотношения типоморфных элементов. В природных водах, представляющих сложную термодинамическую систему, элементы могут мигрировать в ионном, коллоидном состоянии, а также в форме органо-минеральных комплексов. Выявление соотношения форм миграции элементов, являющееся возможным только для конкретной природной воды, представляет интерес с геохимических позиций и с точки зрения успешного аналитического определения. Как показали работы многих исследователей (Нечипоренко, 1959; Shapiro, 1958, 1964; Еременко, 1966; Бутельский, Цимлянская, 1966; Онуфриенок, Солодовникова, 1964; Быкова, Никитина, 1964; Быкова, Голева, Воробьева, 1968; Варшал и др., 1972; Ярцева и др., 1972 и др.), на формы миграции элементов в водах большое влияние оказывают органические вещества, их количества и качественный состав. Поэтому изучение содержания и форм миграции элементов следует проводить в тесной связи с изучением органических веществ.

Кратко остановимся на некоторых опубликованных данных по формам миграции отдельных элементов в пресных водах.

Кремний. Такеси Окура (Гинзбург, Кабанова, 1960) различает четыре формы миграции кремнезема в природных водах: 1) ионную и молекулярную (растворимую); 2) агрегатную — коллоидную (золе- и гелеобразную), переходящую при разбавлении водой в ионную и молекулярную; 3) находящуюся в состоянии слипания (адсорбированную на поверхности частиц соединений Fe, Al, Ca, Mg и др.), 4) стабильную (в форме взвеси и мути силикатов). Любая природная вода может содержать все эти формы в различных соотношениях.

Щелочно-кислотные условия поверхностных вод исключают диссоциацию кремниескислоты (Correns, 1940).

Большая часть или весь кремнезем, обычно поступающий в водные растворы в результате выветривания, находится в состоянии истинных растворов. Коллоидальная форма нигде не превосходит 30—40% от валового содержания. Переход истинно растворенных форм в коллоидные может быть вызван охлаждением и изменением pH (Гинзбург, Кабанова, 1960).

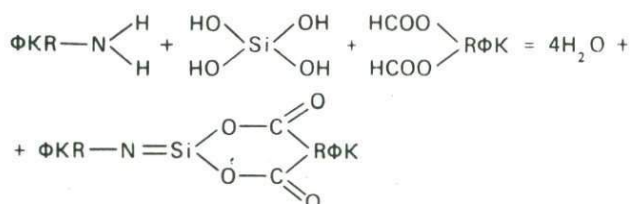
А.А. Матвеева и О.И. Башмакова (1964), исследуя методы определения кремния в маломинерализованных водах, также пришли к выводу, что в водах горных рек наряду с истинно растворенными моно- и димерными кремниевыми кислотами часть кремния мигрирует в виде коллоидов. Это подтверждается повышением концентрации кремния в 3—4 раза в отфильтрованных через "синюю ленту" водах при хранении пробы в полиэтиленовой посуде до полутора месяцев. В прозрачных снеговых, ледниковых и атмосферных водах без заметного содержания взвешенных веществ это явление не наблюдалось.

И.Р. Моррисон и А.Л. Вильсон (Morrison, Wilson, 1963) называют реактивными (реакционноспособными) соединения кремния, реагирующие с молибдатом аммония в течение 10 мин; считают, что это мономеры и димеры кремневой кислоты, которые часто не исчерпывают всего содержания кремния в водах. Авторы часто повторяют: "разность между общим содержанием и реактивным кремнием", нередко эта разность бывает значительной.

Возможно, что на формы миграции кремния оказывают влияния растворенные в природных водах органические вещества. Впервые связь кремния с фульвокислотами была обнаружена Берцелиусом (Berzelius, 1839). Он установил, что креновая кислота образует с кремневой кислотой растворенные соединения, после чего креновая кислота не может быть вся экстрагирована щелочью.

Изучение сосаждения гидроокиси кремния с гидроокислами железа и марганца в озерных водах показало, что количество сосажденной гидроокиси кремния значительно понижено по сравнению с экспериментальными данными. Это обусловлено присутствием в водах органических веществ, способных удерживать гидроокись кремния в растворенном состоянии (Kato Kikuo, 1969; по РЖ Геология, 3 В114, 1970).

А.В. Фотиев (1971) предлагает гипотетическую схему уравнения взаимодействия между кремневой кислотой и фульвокислотами:



и считает, что "водный гумус" является сложным кремнийорганическим соединением, напоминающим фермент, в котором носителем является силикатная, а не белковая основа.

Кальций и магний. Основная форма переноса этих элементов в речных водах — это истинный раствор, так как эти элементы, обладая низким ионным потенциалом (Ca — 1,90, Mg — 2,70) и высокой энергией гидратации, при переносе в зоне гипергенеза стремятся перейти в устойчивые ионные растворы (Страхов, 1947₁; Глаголева, 1959). Гуминовые вещества могут оказывать защитное действие на кальций, удерживая его в растворе и тем самым образуя пересыщенные растворы CaCO₃ (Озеров, 1927; Алекин, Морчиева, 1959).

В окрашенных озерных водах штата Коннектикут (США) методом бумажной хроматографии были обнаружены комплексные соединения кальция и магния с фульвокислотами, что способствует удержанию этих ионов в растворе при достаточно высоких значениях pH (8,0–8,4) (Shapiro, 1958).

Железо и алюминий. Н.М. Страхов (1947₂), рассматривая закономерности и механизм морской седиментации, отметил, что главная масса

железа доставляется реками в составе твердой фазы, как тонкая мусть и лишь часть его мигрирует в растворах истинных и коллоидных.

По мнению М.Г. Глаголевой (1959), в реках значительная часть растворенного в воде железа мигрирует в виде золя под защитой коллоидного органического вещества. Чем богаче речная вода растворенным органическим веществом, тем большую роль приобретает миграция железа в форме растворов, молекулярных и коллоидных. Однако основной формой миграции железа в речных водах автор считает взвеси.

Работами почвоведов (Александрова, 1953, 1960; Пономарева, 1949, 1964; Кононова, 1963, 1964; Кауричев и др., 1963 и др.) и других исследователей (Shapiro, 1964; Соколова, 1968) доказана огромная роль почвенных кислот в переносе этих элементов в почвенных профилях. Поэтому есть основания предполагать наличие таких же металлоорганических соединений в природных водах, особенно в водах, богатых органическими веществами.

Большая роль в образовании комплексных соединений отводится карбоновым кислотам, выделяемым корнями растений (лимонной, винной, яблочной), а также продуктам распада живых организмов (аминам, аминокислотам) (Еременко, 1966). Для ряда металлов (Fe, Ni, Pb, Mn, Zn, Cu) и карбоновых кислот определены средние величины их констант нестойкости (Еременко, Ивлева, 1966; Назарова, Еременко, 1968). Как показали экспериментальные работы этих авторов, устойчивость цитратных комплексов возрастает с возрастанием числа адендов. Это объясняется большей прочностью соединений с несколькими замкнутыми циклами вокруг атома металла, чем с одним циклом.

Никель. Этот элемент также перемещается в водах рек в составе взвесей и лишь частично в виде растворов (Глаголева, 1959). Известно также, что содержание никеля в природных водах коррелируется с содержанием органических веществ. Так, в р. Оби при содержании $C_{орг.} = 17$ мг/л обнаружен высокий процент никеля и кобальта (Нестерова, 1961). Ю.Ю. Бугельский и Л.С. Цимлянская (1966), изучая формы миграции никеля в природных водах, пришли к следующим выводам: 1) повышенным концентрациям в водах никеля сопутствует увеличение количества органического вещества; 2) никель мигрирует в ионной, коллоидной и органо-минеральной формах. Нередко две последние преобладают. Этому способствует наличие гумусовых веществ.

Свободные гуминовые кислоты могут образовывать с двухвалентными катионами, в том числе с никелем, кобальтом, медью и цинком, в зависимости от условий среды растворимые и нерастворимые соединения. Чем труднее гидролизуются соли металлов, тем при более высоком значении рН наблюдается образование осадка гуматов (Онуфриенок, Солодовникова, 1964).

Таким образом, гуминовые кислоты в зависимости от величины рН могут либо удерживать ионы металла в растворе, либо способствовать выпадению его в осадок в составе труднорастворимых металлоорганических соединений (Солодовникова, 1967; Гончарова, Кружекова и др., 1968). Экспериментально установлено наличие комплексных соедине-

ний никеля с масляной кислотой, имеющих константу нестойкости $4,96 \cdot 10^{-4}$ (Еременко, 1966).

Медь мигрирует в речной воде как в форме взвесей, так и в растворе. Для горных рек преимущественна миграция во взвешях, для северных районов — в виде растворов (Коновалов, 1957). В поверхностных водах медь может мигрировать в виде коллоидов и псевдоколлоидов (Еременко, 1964, 1966).

Экспериментально была установлена возможность комплексообразования меди с гуминовыми и фульвокислотами (Дроздова, Емельянова, 1960; Манская, Дроздова, 1964; Залетов, 1969; Бондаренко, 1972). Комплексы меди с гуминовыми кислотами более устойчивы в слабощелочной среде, а с фульвокислотами — и в слабокислых средах. В присутствии гуминовых кислот в слабокислых и нейтральных средах медь слабоподвижна (Рассказов, Солодовникова, 1966). Экспериментальные работы Е.Л. Быковой и И.Н. Воробьевой (1968) показали, что в водах Предкарпатья медь присутствует в виде гуматов.

Меднофульватные комплексы более устойчивы и более растворимы в присутствии солей кальция и магния, чем медногуматные. Присутствие фульвокислот тормозит осаждение меди в виде CuS (Бондаренко, 1972). В.Г. Залетовым (1969) методом ЭПР вычислена константа устойчивости меднофульватного комплекса — $0,55 \cdot 10^{13}$. Это показывает, что комплексообразующая способность фульвокислот весьма велика.

Цинком наиболее обогащены кислые воды с pH 5,5–6,5; в более щелочных водах содержание его снижается (Белякова и др., 1962). Миграция цинка в подземных водах происходит главным образом в форме Zn^{2+} , коллоидные формы не были обнаружены, даже при концентрациях его до 120 мкг/л (Бугельский, 1966); предполагается возможное существование в небольших количествах отрицательных комплексных ионов цинка вида $\text{ZnO}_m(\text{SiO}_3)_n^-$, где $n > m$, или $[\text{Zn}(\text{OH})_3]^-$, $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$.

По данным Р.С. Солодовниковой (1967), соединения Zn с органическими веществами обладают достаточной растворимостью и извлекаются из вод в торфянистые и иловые отложения в меньшей степени, чем соединения меди, т.е. металлоорганические комплексы являются одной из форм переноса цинка.

Свинец в речной воде перемещается со взвешенным веществом (Глаголева, 1959). Г.А. Голева (1968) считает, что свинец может мигрировать в водах в различных формах: истинной, коллоидной и в виде сложных комплексных металлоорганических и неорганических соединений.

По данным Р.С. Солодовниковой, свинец образует осадок гуматов при pH 3, который начинает растворяться в слабощелочной среде. Следовательно, в водах, обогащенных гуминовыми кислотами, свинец малоподвижен.

Г.П. Бондаренко (1968), исследуя растворимость галенита в присутствии фульвокислот с целью изучения вопроса форм переноса металлов в условиях нормальных температур и давлений, показал наличие хорошо растворимых комплексов фульватов свинца при pH 5,20–6,60.

Таким образом, наличие органического вещества препятствует гидролизу солей металлов в водных растворах. При малых концентрациях

ионов металлов порядка 0,001–0,01 мг/л и большем содержании органического вещества (> 10 мг/л) происходит растворение образующихся осадков гуматов и увеличение миграционной способности металлов в природных водах.

Марганец, титан и ванадий в реках почти полностью перемещаются во взвешенном состоянии (Страхов, 1947; Глаголева, 1959; Конторович, 1968). По данным В.Я. Еременко (1964), в поверхностных и подземных водах марганец мигрирует в виде коллоидов, адсорбированных коллоидным кремнеземом. Большая часть марганца (80%) может находиться в природных водах в виде Mn^{++} .

Молибден. Ряд исследователей (Виноградов, 1957; Бродский, 1964; Удодов, и др., 1962; Белякова и др., 1962; и др.) считают, что молибден мигрирует в природных водах преимущественно в виде аниона MoO_4^{2-} . Работы В.Я. Еременко (1964) показали, что молибден может присутствовать в водах также в виде коллоидов и комплексных ионов (20%) и более 60% – в виде металлоорганических соединений.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АЛДАНСКОГО НАГОРЬЯ

КРАТКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Район проведения работ, расположенный в Алданском нагорье, представляет водораздел р. Алдан и р. Тимптон и фактически совпадает с границами Алданского горно-промышленного района.

Геологическое строение региона довольно хорошо изучено и освещено в известных работах Д.С. Коржинского (1936, 1939), Ю.К. Дзевановского (1946), Н.Г. Судовикова (1965), А.А. Маракушева (1965), Л.М. Минкина (1956, 1960), И.Д. Вороны и Б.А. Сикача (1956), И.С. Бредихина (1960) и др. Территория района покрыта 1 : 200 000 геологической съемкой, а рудные узлы более детальными съемками, проведенными Южно-Якутской комплексной экспедицией (ЮЯКЭ) и Тимптоно-Учурской комплексной экспедицией (ТУКЭ).

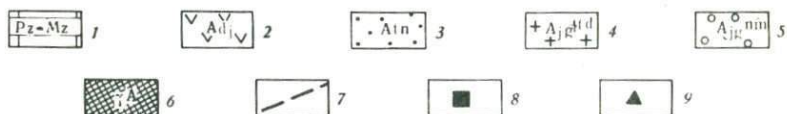
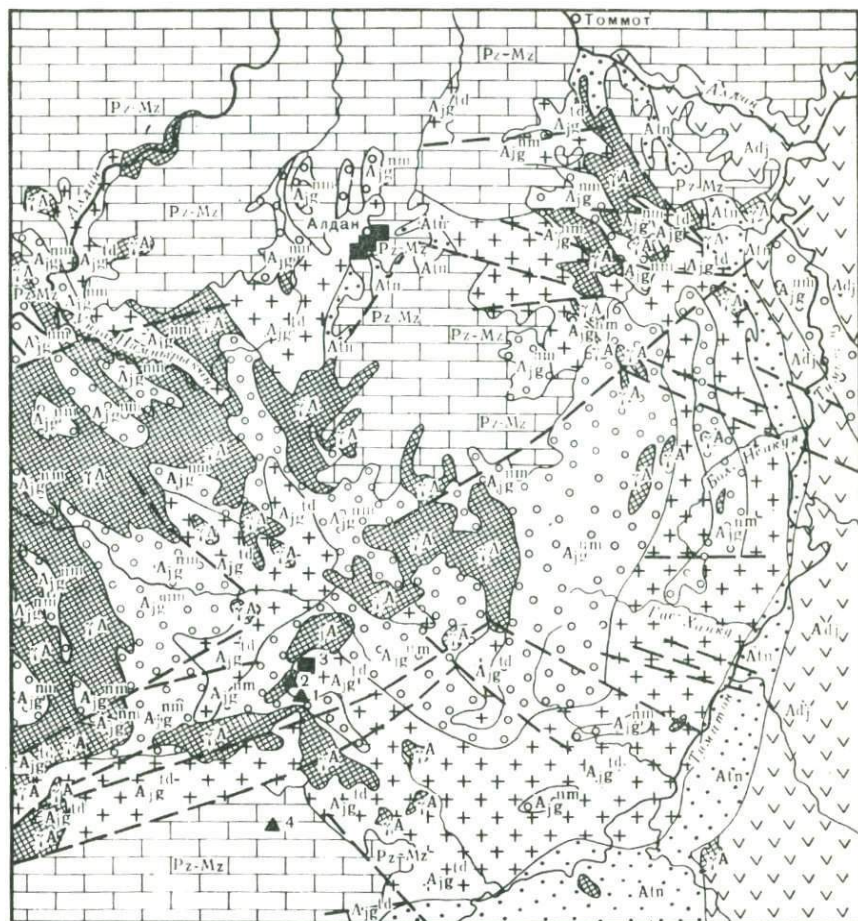
Особенности геологического строения района сводятся к следующим основным положениям.

Стратиграфия. В строении района главную роль играют докембрийские кристаллические породы, подчиненное значение имеют кембрийские осадочные породы, юрские континентальные отложения, послеюрские магматические породы и четвертичные отложения (рис. 1).

Ранние докембрийские кристаллические породы развиты в центральной части района. Эти метаморфические породы, образующие весьма сложный, значительно мигматизированный комплекс, по терминологии Д.С. Коржинского (1939) принято подразделять на три серии (снизу вверх): иенгскую, тимптонскую и джелтулинскую.

В пределах изученного района наиболее широко распространена иенгская серия. Иенгская серия представлена различными гнейсами, кристаллическими сланцами, включающими ассоциацию кварцитов и силлиманитовых пород, и разделена на две свиты — верхнеалданскую и федоровскую. Верхнеалданская свита в основном состоит из разнообразных кварцитов и характеризуется почти полным отсутствием основных и ультраосновных кристаллических сланцев. Федоровская свита сложена амфиболитовыми, биотитовыми, биотит-амфиболовыми, пироксен-плаггиоклазовыми кристаллическими сланцами, диопсид-флогопитовыми породами, графитовыми и гранатовыми гнейсами, мраморами, кальцифирами. Мощность серии 4500 м.

Тимптонская серия сложена гиперстеновыми гнейсами, основными и ультраосновными кристаллическими сланцами. Мощность серии 4300 м.



Р и с. 1. Схема геологического строения Алдано-Тимптонского междуречья (по Шведову и Михоношину, 1962)

1 — кембрийские карбонатные и мергелистые породы, юрская континентальная толща; 2 — джелтулинская серия (основные кристаллические сланцы с линзами кварцитов); 3 — тимптонская серия; 4 — федоровская свита иенгрокской серии (основные кристаллические сланцы, гнейсы с линзами мраморов, кальцифиров, диопсидитов, скарнов, флагонитовых, магнетитовых тел); 5 — нимырская подсвита верхнеалданской свиты иенгрокской серии (основные кристаллические сланцы с прослоями и линзами кварцитов, амфиболитов); 6 — докембрийские породы, гранитоиды; 7 — линии тектонических нарушений. Пункты работ по изучению миграции рудных элементов: 8 — на месторождениях и проявлениях; 9 — за пределами месторождений

Джелтулинская серия (мощность 1500 м) представлена толщей биотитовых, биотит-гранатовых, амфиболовых сланцев с пластами мраморов и доломитов. Породы этих двух серий расположены на крайнем северо-востоке и занимают ограниченную площадь на территории исследования.

Докембрийские породы Алданского щита представляют глубоко метаморфизованные образования, сформирование которых происходило как в результате изменения первично-осадочных, так и магматических пород в гранулитовой и амфиболитовой фациях метаморфизма. К наиболее ранним магматическим образованиям относятся основные эффузивы, которые в результате процессов регионального метаморфизма превращены в амфиболиты, основные и ультраосновные кристаллические сланцы, а также габбро и дуниты (Коржинский, 1936; Швецов, Механошин, 1962).

Следующий этап магматической деятельности сопровождается процессами гранитизации и связанного с ней метасоматоза. Эти процессы выразились в образовании массивов плагиогранитов и аляскитов, обширных полей мигматизации, в интенсивном скарнировании доломитов, в появлении секущих тел гранитоидов и пегматитов. Магматические проявления этого этапа наиболее характерны для центральной части района. В южной части изученного района отмечаются поздние докембрийские проявления гранитоидного магматизма и зоны диафоритовых изменений, наложенных на нижнедокембрийские кристаллические породы.

Нижнекембрийские отложения распространены в основном на северном склоне Алдано-Тимптонского водораздела, где они занимают обширное пространство, а также прослеживаются в виде изолированных пятен по всей площади нагорья (по р. Б. Хатыми, на водоразделе р. Чути и р. Амедичи, по рр. Тимптон и Чульман).

Отмечена исключительная неоднородность кембрийских отложений, обусловленная очень сложной историей развития Сибирской платформы в кембрийское время. Мощность нижнекембрийских отложений довольно непостоянна и изменяется в широких пределах (от 20 до 600 м), постепенно уменьшаясь к югу. Они представлены доломитами, доломитизированными известняками, песчаниками, мергелями, мергелистыми известняками.

Юрские отложения распространены в южной части Алданского кристаллического массива и представлены аргиллитами, алевролитами, песчаниками, конгломератами. К толще юрских пород приурочены пласты каменных углей.

Послеюрский магматизм представлен субщелочными кислыми гипабиссальными породами, слагающими дайки, штоки, лакколиты и другие мелкие тела, преимущественно в кембрийских породах или между кристаллическим фундаментом и кембрийскими осадочными породами. Золоторудные месторождения Алдана связаны главным образом именно с этим магматизмом.

Четвертичные отложения довольно маломощны и представлены грубозернистыми продуктами выветривания коренных пород. Элювиальные отложения — крупнообломочный материал, щебень, песок и илесто-

глинистые частицы — приурочены главным образом к водораздельным пространствам. Мощность их обычно не превышает 1—2 м.

Делювий имеет песчаный и супесчаный состав с крупным щебнем и глыбами изверженных и метаморфических пород. Мощность от 0,5 до 2 м на склонах и 7—10 м у их подножий.

Аллювий представлен хорошо окатанной галькой и валунами, слагает речные террасы и выполняет русла рек и ручьев.

Тектоника. В геотектоническом отношении Алданский кристаллический массив принадлежит к древним щитам, консолидированным в конце архея. Нижнедокембрийские структуры образуют систему сложных складчатых форм в виде крупных синклинориев и антиклинориев, вытянутых в северо-западном направлении. Западнее р. Чуги простирается складок меняется на меридиональное. В позднее докембрийское время Алданский щит подвергся сильным динамическим напряжениям, приведшим к образованию системы параллельных расколов широтного и субширотного направления, которые были использованы для формирования трещинных интрузий (Геологическое строение СССР, т. II, 1968).

В конце палеозоя Алданский щит подвергся новым напряжениям, приведшим к возникновению серии расколов, выраженных дайками основных пород простирающихся в северо-восточном, широтном и реже северо-западном направлениях.

В мезозойский этап тектогенеза на юге Алданского кристаллического массива образовался громадный краевой прогиб, заполнившийся континентальными отложениями. В послелюрское время (верхний мезозой) вся территория массива также подверглась крупным разломам, с которыми связаны интрузии послелюрских магматических пород.

В четвертичное время, вплоть до наших дней, регион испытывает устойчивое поднятие. В условиях поднятия происходило перераспределение речной сети, изменение базиса эрозии, новое врезание рек. В настоящее время Алданский щит представляет сочетания молодых и древних, сильно преобразованных в новейшее время морфоструктур.

Таким образом, главные события геологической истории района можно представить так.

1. Магматическими проявлениями, метаморфизмом и гранитизацией древних осадочных и магматических пород в раннее докембрийское время.

2. Позднедокембрийским (Prz_1) магматизмом и разломами на юге и западе района.

3. Крупным поднятием и пенепленизацией пород докембрия с образованием коры выветривания ($Prz_3 - Cп_1$).

4. Трансгрессией и регрессией нижекембрийского моря.

5. Образованием краевого прогиба в южной части региона с накоплением угленосных толщ (I).

6. Верхнемезозойским магматизмом щелочных гранитоидов платформенного типа (Mz_3).

Полезные ископаемые. Алданский горнопромышленный район богат полезными ископаемыми. Это прежде всего ископаемые, связанные с проявлениями послелюрского магматизма. Месторождения пьезокварца, связанные с докембрийскими кварцитами, переработанными в

позднем докембрии. Крупнейшие в Союзе флогопитовые месторождения приурочены к иенгурской серии и связаны с ранним докембрийским магматизмом. Район интересен уникальной близостью крупных докембрийских скарновых железорудных месторождений и мощных залежей юрских коксующихся углей. Подчиненное значение имеют сульфидные медные и полиметаллические руды и другие виды сырья, часть из которых является попутной для главных типов.

Геоморфология. Алданское нагорье представляет собой сильно расчлененную горную область с абсолютными отметками от 900 до 1600 м. К долинам крупных рек нагорье обрывается высокими скалистыми берегами и здесь же бывает резко переработано процессами размыва, приводящими к образованию среднегорья. В местах, где речная сеть разрежена и представлена небольшими короткими протоками, в нагорье сохраняются обширные плоскогорья. Они выглядят как слабо волнистая равнина, покрытая в понижениях мелкими озерцами и болотами.

Нагорье не образует сплошного массива, а разбито на участки, разоб-щенные системами хребтов, вытянутых в восточном – северо-восточном направлении. Одним из значительных крутых и протяженных хребтов, выделяющихся в пределах нагорья, является хребет Суннагин, пересекающий нагорье примерно в северо-восточном направлении. Протяженность его порядка 400 км. В западной половине этот хребет известен под названием Западных Янгов. Суннагин представляет цепь массивных сглаженных гольцов. В Притимптонье хребет несколько понижен и выражен менее рельефно. Наиболее выдающимися вершинами Суннагина в его западной части является гольц Эвота с отметкой 1650 м, расположенный в верховьях бассейнов рек Хатыми, М. Нимныра и Б. Леглиера. Севернее, в верховьях р. Б. Нимныра, Ыллымаха, Якокита располагается крупная гольцовая группа, носящая название Томмотской гольцовой гряды. Многочисленные группы и одиночные гольцы разбросаны по всему Алдано-Тимптонскому междуречью. Абсолютные высоты их постепенно увеличиваются с севера на юг до 1600 м (гора Батько), относительные высоты – от 400 до 800 м над речными долинами. В южной и в средних частях рельеф менее возвышен. Здесь нагорье сложено горизонтально залегающими толщами кембрия и юры.

С новейшей тектоникой связана также и водопроницаемость горных пород этого района, особенно древних магматических и метаморфических толщ, водопроницаемость которых очень низка. Неотектонические движения привели к омоложению древних и образованию новых разломов, обусловили широкое развитие зон дробления. Тектонические напряжения, связанные с общим поднятием территории, обусловили площадное развитие верхней трещиноватой зоны. Через эту зону происходила в основном инфильтрация атмосферных осадков, к ней приурочена значительная часть запасов подземных вод областей распространения древних кристаллических пород.

В ряде случаев заложение речной сети происходило по тектонически ослабленным зонам. К зонам тектонических нарушений часто приурочены подрусловые талики, по которым происходит инфильтрация поверхностных вод.

В современной морфоструктуре Алданского плоскогорья широко развиты формы гольцового выветривания (останцы, курумы, каменные плащи). Характерно присутствие разнообразных видов недавнего оледенения — троговые долины, цирки, кары, ледниковые озера, а также наличие форм, созданных солифлюкцией (нагорные террасы, сплавнины), наледями (наледные поляны) и карстом (воронки, блюдца, исчезающие речки).

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛАНДШАФТОВ АЛДАНСКОГО НАГОРЬЯ

Климат Южной Якутии, достаточно полно описанный в литературе (Вельмина, Узембло, 1959 и др.), характеризуется резкой континентальностью, отрицательными среднегодовыми температурами (-6 — -10°C). Амплитуды колебаний абсолютных температур воздуха в течение года достигают 86 — 93° (по средним самого холодного и самого теплого месяцев), а в течение суток — до 20° .

По сравнению с Северной и Центральной Якутией в Алдано-Тимптонском районе значительное количество атмосферных осадков (400 — 600 мм), большая часть которых приходится на летний период. Это в сочетании с низкой испаряемостью и слабой фильтрационной способностью мерзлых грунтов обуславливает значительное переувлажнение.

Мерзлотные условия. В пределах Алданского нагорья многолетнемерзлые породы с температурами -3 — -10° пользуются повсеместным распространением. Это связано с отрицательными годовыми температурами, маломощным снежным покровом и другими физико-географическими условиями.

Глубина сезонного промерзания (протаивания) определяется составом слоя сезонного промерзания (протаивания), его влажностью, теплоемкостью, теплопроводностью, характером растительного покрова. Наиболее низкие среднегодовые температуры пород и наименьшие глубины протаивания наблюдаются на участках развития торфяников с мощным сфагновым покровом. Большие глубины протаивания и относительно высокие среднегодовые температуры свойственны песчанистым, склоновым и водораздельным отложениям.

Однако наряду со сплошным распространением многолетнемерзлых толщ, принадлежащих к слабо дислоцированным блокам коренных пород, имеются территории с островным распространением мерзлоты, которые приурочены к ослабленным участкам Алданского щита с широким распространением дизъюнктивных нарушений. Условия, благоприятствующие формированию мерзлотно-гидрогеологической обстановки с преобладанием талых вод над мерзлыми, определяются наличием трещиноватости скальных горных пород или закарстованности, плоскогорным характером рельефа, грубодисперсным составом рыхлого покрова, что способствует отеплению пород за счет инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод.

Мерзлые близко залегающие к поверхности породы приводят к замедленному вертикальному водообмену, к превращению грунтовых

вод в лед и к существованию только поверхностных болотных вод, для которых характерна интенсивная миграция органических веществ и неокисленных соединений. Следовательно, многолетняя мерзлота создает специфические условия миграции компонентов и ее роль может быть сведена по таксонометрическому рангу к классу ландшафта (Перельман, 1966).

Многолетняя мерзлота является нижней границей ландшафта на участках сплошного ее развития, а также на заболоченных пространствах и в понижениях рельефа (Глазовская, 1964; Перельман, 1966). Процессы, протекающие в многолетнемерзлой толще и в водоносном подмерзлотном горизонте, не находятся под влиянием ландшафтно-геохимических условий и рассматриваются в настоящей работе только с точки зрения их влияния на геохимию вод ландшафта.

По биоклиматическим условиям возвышенная часть Алданского нагорья относится к северо-таежной подзоне. Для северной тайги характерны наименьшие в таежной зоне емкость и скорость биологического круговорота (Перельман, 1966). В холодных гумидных районах процессы биологического и химического литопереноса угнетены (Страхов, 1968). На территории исследования, по данным В.Л. Кожары (Кожара, Чибисов, 1965), абсолютная величина ионного стока близка к минимальной — порядка 5–10 т/км² год.

По Л.Г. Филимоновой (1969), преобладание процессов физического разрушения минералов над процессами их химического изменения приводит к тому, что основная часть химических элементов в выветрелой толще сосредоточена в первичных минералах. Эти минералы определяют общее содержание химических элементов и их перераспределение по генетическим горизонтам почвы.

В районе работ по условиям миграции элементов в зоне гипергенеза В.Л. Кожарой (1965) были выделены ландшафты, приуроченные к наиболее широко распространенным комплексам коренных пород и различным мерзлотным условиям. Подразделение производилось по классификации А.И. Перельмана (1961, 1966) на уровне класса водной миграции на кислые глеевые, кислые и переходные ($H^+ - Ca^{++}$) классы.

Ландшафты кислого глеевого класса приурочены к площадям заболоченного подгольцового редколесья на мерзлых алюмосиликатных кристаллических породах (кристаллические сланцы федоровской свиты архея). Многолетняя мерзлота залегает на глубине 0,5–0,7 м. Отсутствие трещин в коренных породах и небольшие относительные превышения рельефа препятствуют быстрому оттоку атмосферных вод. Для этих территорий характерен замедленный водообмен, переувлажнение, интенсивное накопление органических веществ. Отсутствие окислительного барьера в переувлажненной почвенной толще и ярко-бурых пленок на минеральных отдельностях, интенсивная миграция органических веществ, закисных форм железа и других элементов этой группы позволило отнести данные геохимические ландшафты к кислому глеевому классу.

Ландшафты кислого класса расположены на площадях с расчлененным рельефом, сложенным гранитами федоровской свиты. Для них характерна трещиноватость, активный вертикальный и умеренный плоскостной водообмен, непереувлаженность, кислородная слабокислая обстановка.

В иллювиальном горизонте почв при смене сильно кислой реакции верхних горизонтов на слабокислую при свободном доступе кислорода происходит осаждение органо-минеральных соединений, которые придают толще ярко-бурый цвет. Л.Г. Филимоновой (1969) эта зона условно названа окислительным барьером.

Ландшафты переходного ($H^+ - Ca^{++}$) класса формируются на площадях незаболоченной северной тайги и редколесья, в условиях расчлененного рельефа; коренные породы — доломиты и доломитизированные известняки кембрийского возраста. Этим породам свойственна хорошо выраженная слоистость, трещиноватость, большая закарстованность, что создает благоприятные условия для аэрации и водопроницаемости. Для ландшафтов этого класса характерна островная мерзлота с небольшой суммарной площадью, интенсивный вертикальный промывной режим, непереувлажненность.

А. Мерзлотнотаежные ландшафты кислого глеевого класса

В качестве примера данных ландшафтов опишем геохимическое сопряжение в среднем течении реки Урюм, правого притока р. Большой Леглиер) (пункт I, рис. 1). Автономный ландшафт приурочен к полого выпуклому водоразделу бассейнов р. Урюм и оз. Хальды. Сопряженный с ним пологий склон северной экспозиции дренируется небольшим правым притоком Урюма ручьем Рыжим.

Максимальная абсолютная отметка водораздела 1146 м, а устья ручья Рыжего — 1020 м.

Геологическое строение, морфология и мерзлотные условия. Несмотря на интенсивность тектонических движений в Нимныро-Леглиерском районе Алданского нагорья, существуют отдельные крупные моноклинные блоки кристаллических пород, внутри которых не обнаруживаются следов дислокаций. Это благоприятствует развитию на них мерзлотных переувлажненных ландшафтов. Именно к такому блоку малодислоцированных пород приурочен данный ландшафт.

Основание ландшафта составляют сплошные многолетние мерзлые кристаллические породы, очень слабо трещиноватые, сложенные средними (реже основными) кристаллическими сланцами федоровской свиты докембрия (80% распространенности) и гранитоидами: мигматитами, собственно гранитами, различными пегматоидными образованиями. Средний химический состав кристаллохимических сланцев приведен в табл. 1.

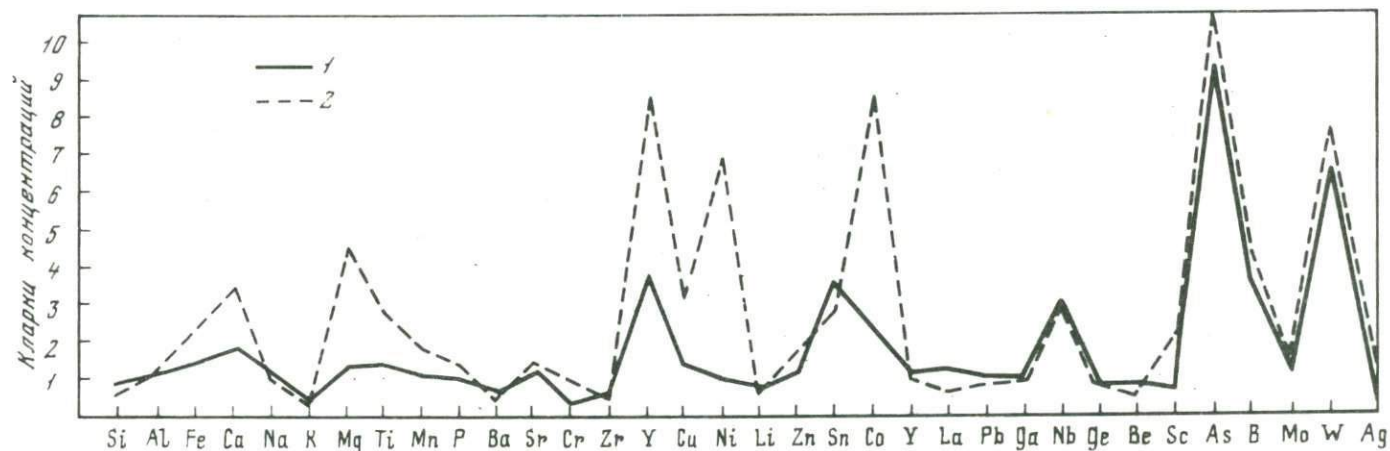
Главные породообразующие минералы кристаллических сланцев — плагиоклаз и роговая обманка. Последняя развивается по диопсиду. Среди аксессуарных минералов преобладают магнетит и апатит. Встречаются сфен, циркон, пирит и халькопирит (Кожара, 1965). Кларки концентраций кристаллических сланцев федоровской свиты показаны на рис. 2. Большинство химических элементов в этих сланцах имеют кларк концентрации, близкий к единице. Отмечается несколько пониженное содержание кальция, а среди микрокомпонентов — хрома, бария, циркония и повышенные содержания ниобия, мышьяка, ванадия, вольфрама, олова, бора, кобальта.

Таблица 1

Химический состав кристаллических сланцев (среднее из 5 проб)

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	K ₂ O
60,81	3,78	3,84	15,63	0,55	0,10	0,31	1,61
Na ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	H ₂ O ⁻	H ₂ O ⁺	CO ₂	Σ
4,33	5,42	2,58	He обн.	0,11	0,65	0,24	100,10

Примечание. Образцы на валовый химический анализ отобраны В.Л. Кожарой (1962–1964). Анализ произведен в ЦХЛ ИГЕМ АН СССР. Аналитик В.А. Сычкова.



Р и с. 2. Кларки концентраций химических элементов в кристаллических сланцах федоровской свиты ландшафтов кислого глеевого класса

1 — по отношению к кларкам литосферы; 2 — по отношению к кларкам кислых пород

Многолетняя мерзлота залегает в толще делювия грубого механического состава, где обломки пород (> 2 мм) преобладают над мелкоземом. На поверхности широко распространены криогенные формы микрорельефа: пятна-медальоны, каменные чаши, торфяные бугры и др. Мощность деятельного слоя не превышает 30–60 см, а многолетне-мерзлой толщи, вероятно, не менее 100 м.

Растительность. Для ландшафта в целом характерно угнетенное лиственничное редколесье.

На водоразделе развито редколесье с зарослями кедрового стланика и березы Миддендорфа. Реже встречается кустарниковая ольха. Среди кустарничков преобладает багульник с примесью голубики. В напочвенном покрове много мхов (преобладает сфагнум); в наименее влажных местах распространены лишайники и брусника.

Близкое залегание мерзлоты и переувлажненность определяют и растительность подчиненных ландшафтов, где развито зеленомошносфагновое редколесье (с меньшим количеством стланика, который частично сменяется ивой). В пойме руч. Рыжего выделяется узкая полоса густого высокоствольного лиственничника на хорошо дренированном аллювии. На склоне, особенно в нижней части, широко проявлена заболоченность.

По данным Л.Г. Филимоновой (1969), химический состав золы отдельных видов растений очень слабо зависит от состава почвообразующих пород, а также от условий увлажнения.

Почвы. Для почв от водораздела к долине характерны неглубокая мерзлота, обильное увлажнение, мощная оторфованность (увеличивающаяся в подчиненном ландшафте), незначительная оподзоленность (местами на водоразделе), высокая каменистость. Почвы этого ландшафта относятся к мерзлотному ряду. Макрокомпонентный состав почв и коренных пород (табл. 2) сходен. Среди микроэлементов можно отметить накопление в иллювиальном горизонте циркония, иттрия, хрома, ниобия, а в элювиальном — фосфора, иттрия, лантана (табл. 3).

Химический состав водной вытяжки из почв и пород довольно близок к составу природных вод этого ландшафта, хотя содержание щелочных и щелочноземельных элементов в вытяжках несколько выше. В водной вытяжке исследуемых почв содержатся фосфора 50–300 мкг/л, марганца — 3–5 мкг/л, меди — 5–8 мкг/л, цинка — 5–7 мкг/л, иттрия — до 5 мкг/л, pH 480.

Сравнительное изучение группового состава гумуса было проведено (Белюсовой, 1974) по сокращенной схеме А.В. Тюрина в модификации В.В. Пономаревой. Результаты показывают, что содержание гумусовых кислот увеличивается от водораздела к долине. Фракция гуминовых кислот, связанная с кальцием, не обнаруживается, что, по-видимому, связано с недостатком этого элемента в почве. Для почв характерны химически более простые и, следовательно, более подвижные формы.

Абсолютное и относительное содержание фульвокислот также возрастает вниз по склону. Фульвокислоты преобладают над гуминовыми, причем наиболее агрессивная фракция фульвокислот вымывается из подстилки в иллювиально-гумусовый горизонт. Органическое вещество этого горизонта состоит из специфических высокоокисленных и сильно

Таблица 2

Химический состав почв северо-таежных мерзлотных ландшафтов Алданского нагорья (вес. %)

Компоненты	Ландшафты кислого глеевого класса (разрез 41)		Ландшафты кислого класса (разрез 36)		Ландшафты переходного ($H^+ - Ca^{++}$) класса (разрез 37)	
	I	II	I	II	I	II
SiO ₂	59,80	59,56	67,20	67,55	31,60	46,86
TiO ₂	0,14	0,29	0,20	0,11	0,43	0,16
Al ₂ O ₃	15,50	13,80	14,70	14,97	7,02	8,60
Fe ₂ O ₃	10,30	9,20	6,46	3,03	7,50	5,01
MnO	0,07	0,13	—	—	—	—
MgO	2,74	2,80	1,13	0,82	8,00	7,30
CaO	4,90	4,53	2,12	1,26	42,10	8,85
Na ₂ O	2,94	3,45	0,04	0,03	0,04	0,05
K ₂ O	2,78	2,58	3,48	5,11	1,26	0,13
H ₂ O ⁻	—	0,30	4,12	4,62	2,32	4,72
H ₂ O ⁺	—	—	—	0,86	—	0,78
пшп	—	3,00	—	3,30	—	17,30
Сумма	99,27	99,64	99,49	99,66	100,27	99,76

Примечание. I — зола верхнего торфянистого горизонта; II — нижний иллювиальный горизонт. Пробы почв отобраны Н.И. Белоусовой, 1967; анализы автора.

гидратированных соединений типа фульвокислот, т.е. этот горизонт обогащен наиболее подвижными гумусовыми веществами с наименьшим содержанием негидролизуемого остатка. Наибольшее количество фульвокислот накапливается в горизонте В под сфагнумом.

В иллювиальном горизонте органические вещества представлены низкоокисленными соединениями растительной природы. Это полуразложившиеся остатки растений, воска, смолы, вещества углеводного комплекса. Здесь преобладают гуминовые кислоты.

Отсутствие окислительного барьера в переувлажненной толще и ярко-бурых пленок на минеральных отдельностях, интенсивная миграция органического вещества, закисных форм железа, марганца и других элементов, пониженное содержание кислорода в некоторых источниках, — все это позволило нам отнести данные геохимические ландшафты к кислому глеевому классу водной миграции.

Условия водообмена и циркуляции вод. Вследствие распространения сплошной мерзлоты область циркуляции вод ограничена преимущественно маломощным деятельным слоем. Сама по себе мерзлота служит источником дополнительной влаги при оттаивании и способствует избыточному увлажнению. В незначительной крутизне склонов — причина замедленного плоскостного водообмена. Все это затрудняет отток влаги с водоразделов и приводит к переувлажнению деятельного слоя. Вода заполняет понижения среди мхов и торфянистых кочек: "каменные

Таблица 3

Микрокомпоненты в почвах подчиненного ландшафта кислого глеевого класса (разрез 41), вес. %

Элементы	Кларки земной коры (по А.П. Виноградову)	I	Кларки концентраций	II	Кларки концентраций
Марганец	$1 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$	0,20	$5 \cdot 10^{-2}$	0,50
Фосфор	$9,3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-1}$	2,16	$1 \cdot 10^{-1}$	1,08
Барий	$6,5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	0,77	$5 \cdot 10^{-2}$	0,77
Стронций	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	0,15	$3 \cdot 10^{-2}$	0,88
Цирконий	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-3}$	0,47	$5 \cdot 10^{-2}$	2,94
Ванадий	$9,0 \cdot 10^{-3}$	—	—	$1 \cdot 10^{-2}$	1,11
Хром	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	0,60	$2 \cdot 10^{-2}$	2,40
Цинк	$8,3 \cdot 10^{-3}$	—	—	$1 \cdot 10^{-2}$	1,20
Никель	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,17	$2 \cdot 10^{-3}$	0,35
Медь	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	1,06	$2 \cdot 10^{-3}$	0,42
Иттрий	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	1,73	$8 \cdot 10^{-3}$	2,76
Лантан	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	2,20	—	—
Ниобий	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,50	$3 \cdot 10^{-3}$	1,50
Галлий	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,50	$2 \cdot 10^{-3}$	1,05
Кобальт	$1,8 \cdot 10^{-3}$	—	—	$2 \cdot 10^{-3}$	1,11
Свинец	$1,6 \cdot 10^{-3}$	—	—	—	—
Молибден	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	1,82	—	—

Примечание. I — верхний торфянистый горизонт; II — мускит иллювиальный горизонт. Анализы выполнены в спектральной лаборатории ИГЕМ АН СССР А.С. Дудыкиной.

чаши" и другие углубления. Здесь она сохраняется даже в периоды длительного отсутствия дождя, так как питается медленно тающим льдом, переливается по ложбинам и просачивается сквозь торфяники в виде многочисленных источников.

Эти воды относятся к болотным и почвенно-грунтовым надмерзлотным. Водоупором для них служит главным образом мерзлота. Воды безнапорные имеют короткие пути фильтрации, практически не связаны с подмерзлотными.

Б. Северотаежные мерзлотные ландшафты кислого класса

Эти ландшафты развиты в центральной части Алданского нагорья в верховьях бассейна рек Алдана и Тимптона, в условиях расчлененного рельефа.

Наиболее детально изучен редколесный ландшафт в верховье реки Большой Леглиер (пункт 2, рис. 1). Абсолютные высоты водораздела

составляют 1100–1200 м, а днищ долин 500–600 м. Автономный ландшафт представляет пологий, волнистый, местами почти плоский водораздел бассейнов рек Урюм и Б. Леглиер. Этим ландшафтам свойственны мягкие формы рельефа, нарушаемые иногда невысокими тектоническими уступами и скальными останцами кристаллических пород.

Геологические, морфологические особенности и мерзлотные условия. Ландшафтообразующие породы представлены сильно гранитизированными гнейсами и кристаллическими сланцами – мигматитами. По химическому составу (табл. 4) они близки к типичным гранитам.

Средне- и крупнокристаллические кварц-полевошпатовые сланцы и гнейсы содержат незначительные примеси темноцветных минералов: биотита, роговой обманки, диопсида; акцессорными минералами являются магнетит, альмандин, циркон (Кожара, Чибисов, 1965).

Средний элементарный состав и кларки концентрации "леглиерских" гранитов приведены в табл. 5. Сравнение их состава с кларками горных пород (по А.П. Виноградову) показывает, что граниты федоровской свиты довольно сильно обеднены рядом компонентов: железом, кальцием, магнием, титаном, ванадием, никелем, кобальтом, медью, марганцем, фосфором, хромом, цирконием. Обращает внимание повышенное содержание олова, иттрия, лантана, свинца, мышьяка, вольфрама, серебра. По содержанию остальных компонентов "леглиерские" граниты близки к кислым изверженным породам.

Для кристаллического основания ландшафта характерно широкое распространение дизъюнктивных нарушений – трещин, разломов, представляющих элементы крупной региональной тектонической зоны северо-западного простираения (Хруцкий, 1964). Здесь отмечаются нарушения северо-восточного простираения и субширотные разломы, т.е. конкретный район исследования принадлежит к облабленным участкам Алданского щита.

Тектоническая трещиноватость усиливается морозным дроблением. Это создает благоприятные условия для циркуляции воздушных и водных масс, для свободного водообмена и теплообмена. Атмосферные осадки, инфильтруясь вглубь, подогревают породы и препятствуют тем самым формированию вечной мерзлоты. На водоразделах и склонах, где

Таблица 4

Химический состав гранитов федоровской свиты (среднее из четырех проб)

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	MgO	CaO
72,35	1,31	1,00	14,17	0,20	0,07	0,14	1,21

Примечание. Анализы выполнены в ЦХЛ ИГЕМ АН СССР В.А. Сычковой, И.Б. Никитиной.

Таблица 4 (окончание)

Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	Cl	H ₂ O ⁻	H ₂ O ⁺	Σ
3,99	4,65	0,07	0,10	0,04	0,10	0,62	100,02

Таблица 5

Средний элементарный состав и кларки концентраций "леглиерских" гранитов, вес. %

Химические элементы	Кларк в земной коре (по А.П. Виноградову)	Среднее арифметическое содержание в породе	Кларки концентрации
Кремний	29,5	33,20	1,13
Алюминий	8,05	8,50	1,06
Железо	4,65	1,33	0,28
Кальций	2,96	0,81	0,27
Калий	2,50	3,59	1,44
Натрий	2,50	2,69	1,08
Магний	1,87	0,36	0,19
Титан	0,45	0,20	0,45
Марганец	$1,10^{-1}$	$4,9 \cdot 10^{-2}$	0,49
Фосфор	$9,3 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	0,54
Барий	$6,5 \cdot 10^{-2}$	$6,4 \cdot 10^{-2}$	0,99
Стронций	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$	0,91
Хром	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	0,3
Цирконий	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	0,59
Ванадий	$9,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	0,33
Медь	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,32
Никель	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	0,05
Цинк	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	0,52
Олово	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	2,40
Кобальт	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	0,14
Иттрий	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	1,28
Лантан	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	1,66
Свинец	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	8,7
Галлий	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	1,05
Ниобий	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	1,15
Скандий	$1 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	0,60
Мышьяк	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	9,50
Бор	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	0,92
Молибден	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	0,91
Вольфрам	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	14,6
Серебро	$7,0 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	1,4

Примечание. Средние арифметические содержания микроэлементов рассчитаны по данным анализа семи проб.

мощность продуктов выветривания не превышает 1–1,5 м и невыветренные обломки и глыбы гранитов резко преобладают над мелкоземом, глубина оттаивания многолетнемерзлого слоя достигает 7–10 м. В понижениях рельефа мощность мелкоземистых рыхлых отложений увеличивается. В этих условиях оттаивание мерзлоты происходит медленнее и глубина оттаивания уменьшается до 1–1,5 м. Мощность мерзлого слоя чаще

всего равна 30–40 м, а температура мерзлых пород – 5°. Талики приурочены к круглогодично функционирующим источникам подмерзлотных вод (Вельмина и Узембло, 1959).

Растительность. Днища долин покрыты ивовым ерником с примесью березы, голубикой, гипновыми мхами и осоками. Далее до середины склона тянется разреженный зеленомошный сфагновый лиственничник, прерывающихся почти незалесенными осыпями или лишайниковым лиственничным редколесьем. Подлесок состоит из березы Миддендорфа и кедрового стланика, кустарники представлены голубикой, багульником, брусничкой, рододендроном.

Верхняя часть склона и водораздел покрыты кедровым стлаником, появляются шикша и камнеломка, кустистые лишайники.

Для этих ландшафтов характерна неглубокая корневая система, которая даже у крупных лиственниц не превышает нескольких десятков сантиметров. Зольность деревьев довольно высокая – иглы даурской лиственницы содержат 4,21% золы, а молодые ветви – 2,30%, листья березы Миддендорфа – 3,30%, а молодые ветви – 1,47% (Перельман и др., 1967). По зольности деревьев северная лиственничная тайга не отличается от южной тайги и широколиственных лесов.

Почвы. В автономном ландшафте, где избыточная влага легко и быстро удаляется, а мощность сезонно-оттаивающего слоя достигает 10 м, развиваются почвы немерзлотного ряда, относящиеся к подзолистому алюмо-железистому гумусовому типу. Для них характерен песчаный механический состав, кислая реакция, значительная степень ненасыщенности. Содержание мелкодозема очень небольшое (частиц < 0,01 мм не более 10%), что является следствием интенсивного выноса продуктов выветривания. В коре выветривания остаются обломки и не накапливаются глинистые продукты.

Вниз по склону в подчиненных ландшафтах увеличивается мощность рыхлых отложений, а мощность сезонно-талого слоя уменьшается постепенно до 1–1,5 м. Подзолистые алюмо-железистые гумусовые почвы постепенно сменяются их торфянистой разновидностью. У подножья склона и в пойме ручья при неглубоком залегания мерзлоты формируются мерзлотно-таежные торфянистые почвы. Для них характерно значительное переувлажнение, мощный торфянистый горизонт, активно идущие процессы криогенеза. Механический состав минеральных горизонтов, как и для почв автономного ландшафта, песчаный и супесчаный. Химический и микрокомпонентный состав почвы нижнего иллювиального горизонта (разрез 36) и золы верхнего торфянистого горизонта представлены в таблицах.

Микрокомпонентный состав почв и коренных пород (табл. 6, 7) очень сходен.

Кларки концентраций большинства микрокомпонентов в породах и почвах также близки. Отмечается некоторое накопление в иллювиальном горизонте почв иттрия, лантана, свинца, молибдена. Химический состав водной вытяжки из пород и почв довольно близок по содержанию железа, алюминия, кремния, хлора, сульфата, органических веществ и pH к почвенно-грунтовым, водам, и по содержанию кальция, магния (хлора, сульфата pH) к

Таблица 6, 7

Микрокомпоненты в почвах ландшафтов кислого класса (разрез 36), вес. %

Элементы	Кларки зем- ной коры (по А.П. Вино- градову)	1	Кларки концентра- ций	2	Кларки концентра- ций
Марганец	$1 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$	0,20	$2 \cdot 10^{-2}$	0,20
Фосфор	$9,3 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	0,54	$5 \cdot 10^{-2}$	1,51
Барий	$6,5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	1,23	$8 \cdot 10^{-2}$	0,77
Стронций	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	0,88	$3 \cdot 10^{-2}$	0,59
Цирконий	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	1,76	$3 \cdot 10^{-2}$	1,18
Ванадий	$9,0 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	1,10	$1 \cdot 10^{-2}$	0,56
Хром	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	1,21	$1 \cdot 10^{-2}$	0,60
Цинк	$8,3 \cdot 10^{-3}$	—	1,20	$1 \cdot 10^{-2}$	—
Никель	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,35	$2 \cdot 10^{-3}$	0,17
Медь	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	1,07	$5 \cdot 10^{-3}$	0,43
Иттрий	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	3,44	$1 \cdot 10^{-2}$	1,03
Лантан	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	6,90	$2 \cdot 10^{-2}$	3,44
Ниобий	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	1,00	$2 \cdot 10^{-3}$	1,00
Галлий	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,95	$2 \cdot 10^{-3}$	0,47
Кобальт	$1,8 \cdot 10^{-3}$	—	1,11	$2 \cdot 10^{-3}$	—
Свинец	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	6,20	$1 \cdot 10^{-2}$	1,88
Молибден	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	4,45	$5 \cdot 10^{-4}$	1,82

Примечание. 1 — верхний торфянистый горизонт; 2 — нижний иллювиальный горизонт. Анализы выполнены в спектральной лаборатории ИГЕМ АН СССР.

грунтово-трещинным водам этого ландшафта. Обращает внимание повышенное, по сравнению с природными водами, содержание щелочных катионов, обогащение вытяжки из иллювиального горизонта железом, алюминием, кремнием и обеднение калием. В этом горизонте при более высоких значениях pH и свободном доступе кислорода воздуха происходит осаждение органо-минеральных соединений и гидроокислов, что придает толще ярко-бурый цвет. Л.Г. Филимоновой (1969) эта зона названа окислительным барьером.

Состав и свойства органического вещества почв подобны ранее описанным в кислых глеевых ландшафтах. Изменение гидротермического режима от водораздела к долине приводит к увеличению содержания гумусовых кислот и более глубокому их проникновению по почвенному профилю, а также к увеличению содержания фракции фульвокислот, свободных и связанных с полуторными окислами. Главная роль в формировании профиля описываемых почв среди органических веществ принадлежит фульвокислотам.

Условия водообмена и циркуляции вод. По характеру распределения мерзлоты ландшафты кислого класса относятся к островно-мерзлотным с умеренным плоскостным и активным вертикальным водообменом.

В автономном ландшафте благодаря большой мощности сезонного слоя и слабой его водоудерживающей способности создаются благоприятные условия водообмена. Здесь можно найти воду только сразу после дождя; состав ее очень близок к составу атмосферных осадков. Последние не накапливаются здесь, а быстро инфильтруются на значительную глубину (10–15 м) и образуют потоки надмерзлотных вод, которые выходят на поверхность в пониженных элементах рельефа, давая начало мелким ручьям. Частично атмосферные осадки могут проникать сквозь толщу нелдыстых мерзлотных пород и пополнять потоки межмерзлотных вод. Последние выходят на поверхность в долинах рек и ручьев в виде постоянно действующих источников, образуя зимой наледи и незамерзающие полиньи.

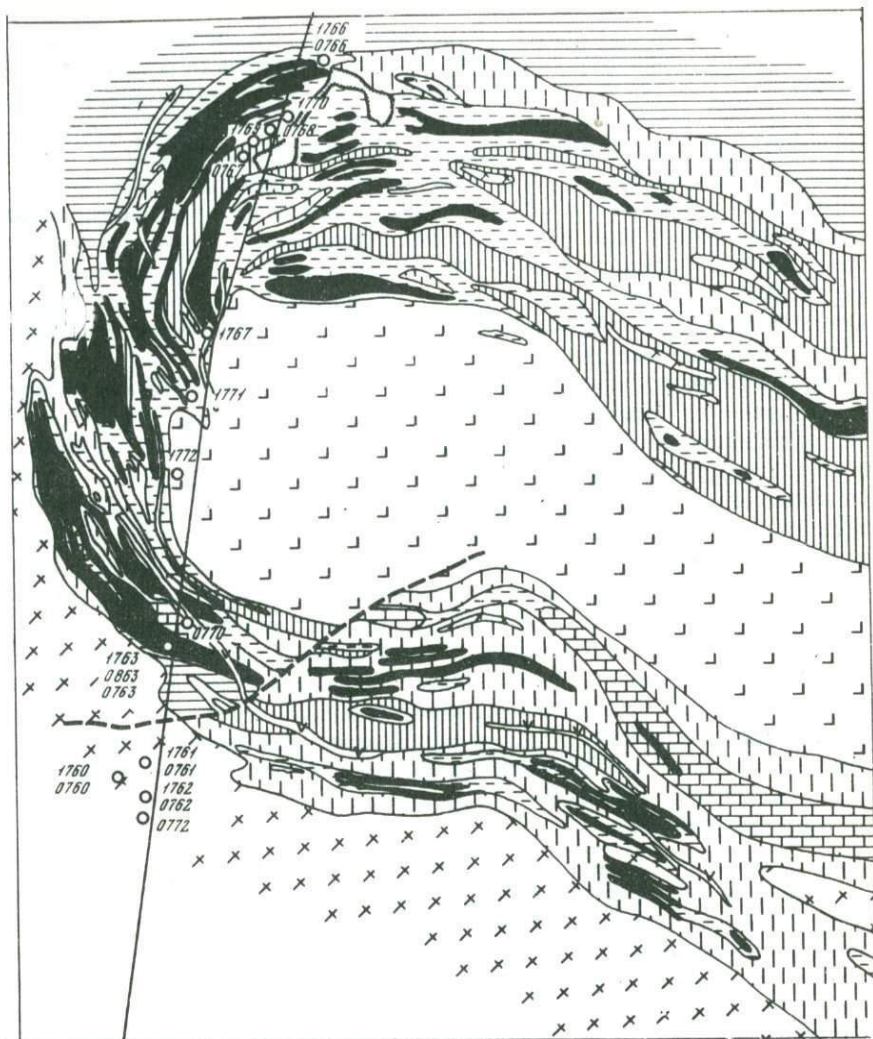
В подчиненных элементарных ландшафтах кислого класса летом функционируют несколько малодобитных источников. Прозрачные, иногда опалесцирующие, окрашенные органическим веществом эти воды заполняют углубления среди мхов, сохраняясь в течение всего теплого периода. Близко залегающий здесь многолетнемерзлый льдистый слой препятствует проникновению их на глубину. Такие воды относятся к поверхностно-грунтовым и поверхностно-болотным. Химический состав этих вод определяется непосредственным контактом их с мощным торфянистым горизонтом почв мерзлотного ряда. По своим геохимическим и физико-химическим свойствам они очень сходны с водами ландшафтов кислого глеевого класса, формируясь в очень близких с последними условиях (близкое залегание мерзлоты, переувлажнение). Но удельный расход источников таких вод в ландшафте значительно меньше, чем грундово-трещинных. Площадь автономного ландшафта в геохимическом сопряжении ландшафтов кислого класса значительно превышает площадь подчиненного.

*В. Северотаежные мерзлотные ландшафты
кислого глеевого и кислого классов
на территории месторождений железных руд
в магнезиальных скарнах*

Описываемые ландшафты расположены в центральной части Алданского нагорья и занимают междуречье двух небольших ручьев — Таежного и Гематитового — левых притоков р. Б. Леглиер (пункт 3, рис. 1).

В геологическом строении рассматриваемый участок представляет собой крупную синклиналиную структуру второго порядка, к которой приурочено железорудное месторождение (рис. 3), залегающее в породах иенгрской серии федоровской свиты. Общее синклиналиное строение месторождения усложняется наличием участков, в пределах которых появились интенсивные дислокации более мелких порядков, как пликвативные, так и дизъюнктивные.

Месторождение расположено с востока от крупной тектонической зоны разломов. Возможно, что синклиналиная складка, включающая его, возникла в результате развития интенсивных движений в этой зоне. Более поздние подвижки в зоне разломов, проходящие вплоть до настоящего



Р и с. 3. Схема геологического строения месторождения Таенное (по материалам Южно-Якутской комплексной экспедиции). Составил А.И. Пухарев

1—сиенит-порфиры, монзониты; 2—руды магнетитовые массивные, магнетит-серпентиновые с флогопитом и диопсидом; 3—магматиты инъекционные, гнейсы и гранитогнейсы; 4—кварциты силлиманитовые, кварц-кордиерит-силлиманитовые гнейсы и сланцы; 5—гнейсы диопсидовые, биотит-амфиболовые, плагиоклаз-микроклиновые; 6—биотит-амфиболовые, диопсид-скаполит-роговообманковые слодиты, серпентиниты, диопсидовые породы; 7—кальцифиры; 8—роговообманковые кристаллические сланцы и гнейсы; 9—полевощатые породы с флогопитом, роговой обманкой и диопсидом; 10—линия тектонических нарушений; 11—пункты гидрогеохимического опробования

ремени, приводили к трещинообразованию, внедрению даек сиенит-орфириров, имеющих преимущественно северо-западное простирание.

Для ландшафта характерны сглаженные очертания форм рельефа. Авномный ландшафт представляет пологий водораздел, покрытый глыбовыми осыпями с абсолютными высотами 1200–1300 м.

Мерзлотные условия района в целом близки к ранее описанным (стр. 28) для ландшафтов кислого класса. Здесь развита в основном стровная мерзлота, что обусловлено особенностями геологического строения. В нижних частях склонов и в долинах ручьев мерзлотные условия более жесткие — мерзлые состояния преобладают над талыми, что обусловлено задернованностью и заторфованностью.

Растительность. Кочковатая марь долины ручья покрыта густыми зарослями тальника. До середины склона тянется листовенничное редкосо с подлеском из березы Миддендорфа, кустарнички — голубика, ододендрон, брусника. Верхняя часть склона и водораздел входят в олосу кедрового стланика.

Почвы для ландшафта характерны мерзлотнотаежные торфянистые. Юостоянное переувлажнение в почвах развито преимущественно в нижней рети правого склона долины ручья Таежного. Отдельные полосы повышенной влажности прослеживаются до верхней части склона. Почвы обогащены боросиликатами и другими минералами магниезиальных скарнов. По данным В.Л. Кожары (1964), концентрации бора в почвах в пределах реола составляют 0,01–1%, что максимально в 1000 раз выше фона (0,001–0,003%). Намечается тенденция к накоплению бора в органогенных горизонтах.

Кроме бора, в почвах в аномальных количествах обнаружены медь, инк, серебро, мышьяк, молибден, никель, кобальт, марганец, ванадий, ром (Кожара, Чибисов, 1965).

Геолого-геохимическая характеристика коренных пород. Ландшафтобразующие породы представлены гранито-гнейсами, кристаллическими ланцами, магниезиальными скарнами и магнетитовыми рудами федоровкой свиты, нижней, иенгской серии докембрия Алданского шита, а акже более поздними — мезозойскими сиенит-порфирами. Значительную асть площади занимают мигматиты и разности пород переходных от мелозернистых биотитовых гнейсов к аляскитовым гранитам. Химический оств мигматитов и гранитов представлен в табл. 8.

Меньше распространены различные кристаллические сланцы (амфибоо- и биотито-полевошпатовые, диопсид-роговообманковые и др., силлианитовые и силлиманито-кордиеритовые) (табл. 8), кварциты и гнейсоварциты, а также породы продуктивного горизонта, т.е. доломитовые граморы и их контактово-метасоматические производные — кальцифиты, магниезиальные скарны, магнетитовые и людвигит-магнетитовые руды. Городы продуктивного горизонта имеют более основной состав, нежели мешающие их гнейсы и кристаллические сланцы.

Мезозойские сиенит-порфиры прорывают докембрийские толщи в виде равнительно маломощных даек, а также образуют лакколиты, выделяющиеся в рельефе местности. Основные породообразующие минералы мешающих гнейсовых пород калиевые полевошпаты, плагиоклазы (пре-

Таблица 8

Химический состав ландшафтообразующих пород, вес. %

Компоненты	Мигматиты	Граниты	Гнейсы	Кристаллические сланцы	Доломитовый мрамор	Диопсидфлогопитовая порода
	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	68,00	71,04	54,78	43,04	1,04	44,96
TiO ₂	0,53	0,22	0,60	0,81	0,00	—
Al ₂ O ₃	15,32	14,47	13,70	13,85	1,12	7,55
Fe ₂ O ₃	1,82	0,93	9,24	3,98	0,25	4,79
FeO	0,90	0,70	3,10	6,75	0,00	3,30
MnO	0,05	0,00	0,08	0,55	0,08	—
MgO	1,51	0,45	2,57	11,06	20,77	15,67
CaO	4,52	1,08	6,07	15,56	30,05	15,86
Na ₂ O	4,32	3,02	3,30	1,95	—	—
K ₂ O	2,33	7,30	3,70	0,83	—	—
P ₂ O ₅	0,16	—	0,58	—	—	—
S	0,03	—	0,68	—	—	—
Cl	0,11	—	0,13	—	—	—
CO ₂	0,25	—	Не обн.	—	46,45	—
H ₂ O ⁻	0,23	0,13	0,20	0,06	0,20	—
H ₂ O ⁺	0,26	0,37	1,06	1,43	0,22	—
Сумма	100,34	99,72	100,69	99,87	100,18	
Cl ₂ = O; S = O	0,03		0,04			
	100,31		100,65			

Примечание. 1 — по данным Д.П. Сердюченко (Сердюченко и др., 1960, стр. 118); среднее арифметическое из анализов трех образцов; 2 — по данным А.А. Маракушева (1958, стр. 64); среднее арифметическое из анализов двух образцов; 3 — данные Д.П. Сердюченко (1960, стр. 43), среднее арифметическое из трех анализов, 4 — данные А.А. Маракушева (1958, стр. 30); 5 — там же (стр. 65); 6 — там же (стр. 65).

Таблица 9

Средний химический состав магнетитовых руд месторождения Таежное, вес. % (по данным ЮЯКЭ) (Маракушев, 1958)

Компоненты	Fe	S	P	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
Вес. %	46,69	2,09	0,05	12,79	3,08	1,78	13,41

обладает кислый андезит), кварц, биотит, роговая обманка. Широким распространением пользуются также силиманит, кварцит, микроклин, мусковит. Местами во вмещающих породах в виде неправильных тел развиты кварц-турмалиновые метасоматиты. Главные породообразующие минералы продуктивной пачки — клино- и ортопироксены, основные пла-

Таблица 10

Средний элементарный состав и кларки концентраций пород скарново-рудного и гранито-гнейсового комплекса

Химические элементы	Кларки (по А.П. Виноградову)		Среднее арифметическое содержание в породе	Кларки концентраций	
	В земной коре (I)	В кислых породах (II)		I	II
Кремний	29,5	32,3	23	0,78	0,71
Алюминий	8,50	7,70	6,1	0,72	0,79
Железо	4,65	2,70	20,0	4,30	7,40
Кальций	2,96	1,58	2,2	0,74	1,39
Калий	2,50	—	—	—	—
Натрий	2,50	—	—	—	—
Магний	1,87	0,56	2,2	1,18	3,92
Титан	0,45	0,23	0,60	1,33	2,61
Марганец	$1 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-2}$	0,1	1,00	1,66
Фосфор	$9,3 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-2}$	0,67	0,86
Барий	$6,5 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	1,54	1,20
Стронций	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$4,7 \cdot 10^{-2}$	1,37	1,57
Хром	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$6,8 \cdot 10^{-3}$	0,80	2,72
Цирконий	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	0,94	0,80
Ванадий	$9 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	1,20	2,75
Медь	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$5,8 \cdot 10^{-2}$	12,3	29,00
Никель	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	0,51	3,76
Цинк	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	1,81	2,50
Олово	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	0,60	0,50
Кобальт	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	1,66	6,00
Иттрий	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	6,90	5,90
Лантан	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	3,44	1,67
Свинец	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	2,25	1,80
Галлий	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	1,05	1,00
Ниобий	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	1,10	1,10
Скандий	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	0,60	2,00
Мышьяк	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	5,90	6,65
Бор	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	8,4	6,65
Молибден	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	10	11
Вольфрам	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	7,7	6,65
Серебро	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$< 1 \cdot 10^{-5}$	—	—

Примечание. Средние арифметические содержания рассчитаны по данным анализа восьми проб. Анализы выполнены в спектральной и химической лабораториях ИГЕМ АН СССР А.С. Дудыкиной, Г.Л. Васильевой, В.А. Гаршиной.

гиоклазы, шпинель, форстерит, клиногумит, флогопит, магнетит, людви- гит, ссайбелиит, серпентин, кальцит и доломит. Местами в рудах и скарнах обильны сульфиды (пирротин, пирит, халькопирит, сфалерит) и турмали- ны. Среди акцессорных минералов выделяются сфен, кейльгаут, ортит, апатит, циркон, молибденит.

Железные руды месторождения образованы преимущественно путем замещения доломитов. Средний химический состав приведен в табл. 9.

В рудах установлено в сотых и тысячных долях процента содержание кобальта, меди, цинка, вольфрама, молибдена и ванадия. Мышьяк, хром и никель практически отсутствуют. Содержание двуокиси титана от 0,10 до 0,35%, окиси марганца — от 0,15 до 0,30%.

Кроме магнетитовых руд к скарнам приурочена генетически связанная с ними боратная и сульфидная минерализации, последняя представлена пирротином, а также пиритом и халькопиритом.

Средний элементарный состав пород скарново-рудного и гранито-гнейсового комплекса и кларки концентраций приведены в табл. 9. Сопоставление их элементарного состава с кларками земной коры, по А.П. Виноградову, и кларками кислых пород показывает значительную обогащенность комплексом рудных элементов: железом, никелем, бором, медью, лантаном, молибденом, цинком, свинцом, ванадием, титаном, а также магнием, барием и стронцием. В меньших количествах содержатся кремний, алюминий, фосфор, олово и др.

Условия водообмена и циркуляции вод. В целом условия водообмена описываемого здесь ландшафта сходны с таковыми для геохимического сопряжения кислого класса. Однако более жесткие мерзлотные условия препятствуют активному водообмену. Здесь большие площади заболоченности особенно в подчиненных ландшафтах.

Выходы почвенно-грунтовых вод часто вскрыты искусственными выработками (канавами, шурфами). Естественные выходы трещинных вод не многочисленны и их дебиты не превышают первых л/сек.

Ручьи питаются преимущественно почвенно-грунтовыми водами. Дебит открытого водотока составляет 100–120 л/сек.

В описываемом ландшафте нами исследованы почвенно-грунтовые, грунтово-трещинные (опалесцирующие), трещинные и речные воды.

Г. Северотаежные ландшафты переходного ($H^+ - Ca^{++}$) класса

Изученный нами ландшафт расположен в верховье ручья Огорьор (бассейн р. Хатыми; пункт 4, рис. 1). Для этого ландшафта характерен пологий расчлененный рельеф с превышением водоразделов над днищами долин в пределах 500–600 м. Полого-волнистый водораздел имеет максимальную абсолютную высоту 1216 м.

Геологическое строение, морфология и мерзлотные условия. Кристаллическое основание ландшафта сложено доломитами и песчаниками юдомской свиты кембрийского возраста. Доломиты составляют 90%. Ландшафтообразующие породы района представлены карбонатной толщей нижнего кембрия. Литологически — это в основном доломиты и доломитизированные мергели (90%) и в подчиненных количествах — песчаники, конгломераты.

Доломиты представляют плотные мелкокристаллические породы с плитчатой отдельностью. Карбонатный состав характеризуется высоким содержанием доломита и в целом незначительным — кальцита (табл. 11). По данным исследователей кембрийских мраморов Алданского нагорья

Таблица 11

Содержание ряда компонентов в собственно карбонатной части доломитов, вес. %

Образец	Нерастворимый остаток	MgO	CaO	FeO	MnO
311a	5,00	20,88	28,46	0,33	≤ 0,01
312a,б	4,62	21,04	28,34	0,48	≤ 0,01

Примечание. Аналитик Е.М. Нактинас

(Смолин, 1960), содержание MgO составляет от 12 до 21,5%, а CaO — 27—40%. В нерастворимом остатке содержатся кварц, халцедон, магнетит, полевые шпаты, глинистый материал.

Нерастворимый остаток обр. 311a состоит из (вес. %): SiO_2 — 50,20, Al_2O_3 — 17,50, Fe_2O_3 — 12,90; FeO — 6,15, Na_2O — 0,93, K_2O — 12,30 (данные автора).

Доломитовые мергели содержат различное количество глинистого материала и нерастворимый остаток (от 15 до 45%), основными компонентами которого являются SiO_2 и Al_2O_3 (Смолин, 1960).

Песчаники слагают, в основном, низы толщи и представлены аркозовыми разностями, лежащими на кристаллическом докембрийском фундаменте.

По данным четырех проб доломитов и трех проб песчаников определен средний элементарный состав этого типа пород (табл. 12). По содержанию микрокомпонентов карбонатные породы значительно беднее гранитов, лишь некоторые компоненты (никель, хром, марганец, стронций, лантан) содержатся примерно в тех же количествах.

Этим породам свойственна хорошо выраженная слоистость и трещиноватость. Большая закарстованность (карстовые воронки и ямы глубиной до нескольких метров) является важнейшей особенностью морфоструктуры. Это создает благоприятные условия для аэрации и водопроницаемости.

Эти особенности морфоструктуры оказывают решающее влияние на распространение и мощность мерзлоты. Для ландшафтов характерны мягкие мерзлотные условия, хотя климатическая обстановка сурова: островная мерзлота с небольшой суммарной площадью. Тепловое влияние водных и воздушных подземных водотоков, возможно, проявляется здесь сильнее, чем в ландшафтах кислого класса, и мерзлые блоки распространены более ограничено.

Растительность. Густая еловая и елово-лиственничная тайга в долинах и нижних частях склона сменяется на водоразделах типичным лиственничным редколесьем с подлеском из кедрового стланика и березы Миддендорфа. Кустарнички состоят из голубики, брусники, багульника. Напочвенный покров образуют лишайники с примесью зеленых мхов. Здесь встречаются некоторые виды растений, не свойственные ландшафтам на кислых породах: специфическая кустарниковая ива, некоторые

Таблица 12

Средний элементарный состав доломитов и песчаников ландшафтов переходного ($H^+ - Ca^{++}$) класса, вес. %

Химические элементы	Среднее содержание в доломите	Среднее содержание в песчанике	Среднее содержание в смеси доломитов + песчаник 10%
Кремний	6,44	37,8	9,5
Алюминий	1,50	5,65	1,05
Железо	0,60	0,42	0,30
Кальций	19,25	0,23	18,00
Калий	0,90	5,35	1,40
Натрий	$5,2 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$6,3 \cdot 10^{-2}$
Магний	10	0,34	10
Титан	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-1}$	$6,0 \cdot 10^{-2}$
Марганец	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$
Фосфор	$< 3 \cdot 10^{-2}$	$< 3 \cdot 10^{-2}$	$< 3 \cdot 10^{-2}$
Барий	$2 \cdot 10^{-2}$	$5,9 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Стронций	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$
Хром	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$
Цирконий	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$
Ванадий	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$
Медь	$1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Никель	$5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$
Цинк	$< 1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Олово	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$
Кобальт	$2 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Иттрий	$< 3 \cdot 10^{-3}$	$< 3 \cdot 10^{-3}$	$< 3 \cdot 10^{-3}$
Лантан	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$
Свинец	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$
Галлий	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Ниобий	$< 1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$
Скандий	$< 5 \cdot 10^{-4}$	—	$< 5 \cdot 10^{-4}$
Бор	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$
Молибден	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$\leq 1,0 \cdot 10^{-4}$
Мышьяк	$< 1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-9}$
Вольфрам	$< 1 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$
Серебро	$< 1 \cdot 10^{-5}$	—	$< 1 \cdot 10^{-5}$

Примечание. Среднее арифметическое содержание рассчитано по данным анализа четырех проб доломитов и трех проб песчаников.

бобовые, ремень. Это связано с составом почв, а не с их водно-воздушным и тепловым режимом, которые сходны с ландшафтами кислого класса.

Л.Г. Филимоновой (1969) отмечено, что растения ландшафтов переходного ($H^+ - Ca^{++}$) класса слабее поглощают барий и стронций, отчасти никель и олово. Химический состав растений подчиненных ландшафтов

не претерпевает значительных изменений. Особенностью большинства растений является низкое поглощение марганца, что, возможно, связано со своеобразными условиями, создающимися в почве.

Почвы. В автономном ландшафте формируются мерзлотные, подзолистые остаточно-карбонатные почвы. Основная масса почв состоит из обломков и щебня доломитов с небольшой примесью песчаников, что является следствием интенсивного промывания атмосферными водами и выноса продуктов выветривания. Органогенный слаборазложившийся горизонт переходит в минеральную толщу. Мелкозем верхней части профиля имеет кислую реакцию, обусловленную органическими кислотами. Здесь одновременно присутствуют и обломки доломитов и кислые продукты разложения органического вещества. Благодаря мощному промывному процессу наблюдается активное выщелачивание карбонатов и вынос растворенных продуктов выветривания доломитов вплоть до формирования кислых бескарбонатных горизонтов.

Ниже, на глубине около 1 м, находится горизонт существенно карбонатного щебня, постепенно переходящего в коренные породы. По тонким трещинам верхней стороны глыб отмечены четкие борозды выщелачивания.

В подчиненном ландшафте формируются почвы мерзлотного ряда, относящиеся к типу мерзлотно-таежных остаточно-карбонатных торфянисто-перегнойных. Особенность этих почв состоит в отсутствии переувлажнения. Избыточная влага удаляется за пределы профиля внутривыносным боковым стоком. Реакция органогенных горизонтов кислая, минеральных — слабокислая. В минеральных горизонтах также наблюдается интенсивный вынос карбонатов.

Химический и микрокомпонентный составы почвы подчиненного ландшафта представлены в табл. 7, 13.

В почвах повышенное количество кремния, алюминия и железа по сравнению с коренными породами, и низкое — кальция и магния. Для последних двух элементов характерен интенсивный вынос, который наиболее сильно происходит из верхней части почвенного профиля, где наиболее агрессивны органические кислоты.

В результате биологического круговорота содержания хрома, меди, никеля, кобальта, ниобия (табл. 13) в почвах на порядок выше, чем в коренных породах. Эти элементы, а также железо, алюминий, ванадий аккумулируются в верхней части илювиального горизонта, где в окислительной обстановке происходит изменение щелочно-кислотных условий. Аккумуляция перечисленных элементов приводит к слабому поступлению их в воды.

Водные вытяжки из почв и пород содержат много кальция, бикарбоната; вытяжка илювиального горизонта кислая. Интересно отметить обогащенность водной вытяжки илювиального горизонтов марганцем (155 мкг/л). Возможно, этот элемент находится в формах, слабо усвояемых растениями¹. Содержание меди, хрома, бария и лантана в водной вы-

¹ Л.Г. Филимоновой (Перельман, Борисенко и др., 1969) отмечалось низкое поглощение марганца ($A_{Mn} < A_{Mg}$) растениями ландшафтов переходного ($H^+ - Ca^{++}$) класса.

Таблица 13

Микрокомпоненты в почвах подчиненного ландшафта переходного ($H^+ - Ca^{++}$) класса (разрез 37), вес. %

Элементы	Кларки земной коры (по А.П. Виногорадову)	I	Кларки концентраций	II	Кларки концентраций
Марганец	$1 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$	0,20	$3 \cdot 10^{-2}$	0,3
Фосфор	$9,3 \cdot 10^{-2}$	—	—	$8 \cdot 10^{-2}$	0,86
Барий	$6,5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	0,08	$2 \cdot 10^{-2}$	0,30
Стронций	$3,4 \cdot 10^{-2}$	—	—	$2 \cdot 10^{-2}$	0,59
Цирконий	$1,7 \cdot 10^{-2}$	—	—	$2 \cdot 10^{-2}$	1,18
Ванадий	$9,0 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	0,02	$5 \cdot 10^{-3}$	0,56
Хром	$8,3 \cdot 10^{-3}$	—	—	$2 \cdot 10^{-2}$	2,40
Цинк	$8,3 \cdot 10^{-3}$	—	—	—	—
Никель	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,35	$2 \cdot 10^{-3}$	0,35
Медь	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	0,04	$4 \cdot 10^{-3}$	1,06
Иттрий	$2,9 \cdot 10^{-3}$	—	—	—	—
Лантан	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	0,35	$5 \cdot 10^{-3}$	1,72
Ниобий	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,50	$2 \cdot 10^{-3}$	1,00
Галлий	$1,9 \cdot 10^{-3}$	—	—	$2 \cdot 10^{-3}$	1,05
Кобальт	$1,8 \cdot 10^{-3}$	—	—	$2 \cdot 10^{-3}$	1,11
Свинец	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	1,25	$3 \cdot 10^{-3}$	1,87
Молибден	$1,1 \cdot 10^{-4}$	—	—	$2 \cdot 10^{-4}$	1,82

Примечание: I — верхний торфянистый горизонт; II — нижний иллювиальный горизонт.

тяжке из этих почв — 3 мкг/л, остальные микроэлементы обнаружены в десятых долях мкг/л.

Водные вытяжки из коренных пород содержат: барий — 320 мкг/л, стронций — 160 мкг/л, лантан — 80 мкг/л, медь и хром — по 16 мкг/л.

Условия водообмена и циркуляции вод. На условия водообмена и циркуляции вод в ландшафтах переходного ($H^+ - Ca^{++}$) класса решающее влияние оказывает закарстованность коренных пород. Наблюдается крайне неравномерная обводненность карбонатных пород на различных участках. Весной поглощающая способность карста ограничивается сезонной мерзлотой, при этом поверхностный сток увеличивается. Вообще же избыточная влага быстро удаляется с поверхности как в автономных, так и в подчиненных ландшафтах. Болотный тип вод здесь отсутствует, но формируется горизонт трещиннокарстовых вод, водоупором которых служат более монолитные доломиты и песчаники.

Воды ручьев формируются из источников надмерзлотных трещиннокарстовых и почвенно-грунтовых вод, появляющихся у подножий склонов и подпитываются межмерзлотными и подмерзлотными водами.

В целом для ландшафта характерен энергичный вертикальный промывной режим.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УЛЬТРАПРЕСНЫХ ВОД РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ЛАНДШАФТОВ

В ландшафтах кислого глеевого класса формируются почвенногрунтовые надмерзлотные воды, химический состав которых, в основном, обусловлен взаимодействием с мощным торфянистым горизонтом.

Для ландшафтов кислого и переходного ($H^+ - Ca^{++}$) классов характерны грунтово-трещинные, трещинные и трещинно-карстовые воды, на химический состав которых существенное влияние оказывает наличие окислительного барьера в почвенной толще.

Нами исследовались подземные воды неглубокого стока, выходящие на поверхность в виде разнообразных источников, и поверхностные водотоки (ручьи, реки); опробованы также источники, вскрытые искусственными выработками.

МЕТОДИКА ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Низкие содержания минеральных компонентов в ультрапресных водах, большие количества органических веществ, низкие температуры и насыщенность газами потребовали несколько специфичного подхода к отбору и анализу проб. Пробы отбирались в полиэтиленовую посуду, а для определения органических веществ — в стеклянную, и хранились в прохладном затемненном помещении. Срок между отбором и анализом в стационарных условиях не превышал 10–14 дней.

В районе опробования была организована лаборатория для определения HCO_3^- , NO_2^- , Fe^{2+} , Fe^{3+} . Eh и pH определялись потенциметрически, $O_2_{св}$ и $CO_2_{св}$ — объемными методами непосредственно у водопункта. Данные по воспроизводимости и точности проведенных определений представлены в табл. 14, 15.

Для разделения коллоидных и истинно растворенных соединений также у водопункта проводился диализ через целлофановую мембрану с радиусом пор 6–10 Å.

В стационарной лаборатории, организованной на базе химической лаборатории ЮЯКЭ в пос. Чульман, определялись $Fe_{общ.}$, Al, H_2SiO_3 , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NH_4^+ , Mn, As, Cu, Zn, Mo. Применялись, в основном, колориметрические методы, предложенные А.А. Резниковым, Е.П. Муликовской, И.Ю. Соколовым (1963). В указанную методику нами были

Таблица 14, 15

Достоверность аналитических определений в ультрапресных водах

Компонент	Метод определения	Чувствительность, мг/л	Общее к-во определений (проб)	Число контрольных определений	Абсолютная ошибка	Относительная ошибка, %	Средняя квадратичная ошибка, S (стандартное отклонение)	Дисперсия, S ²
pH	Потенциометрический	0,05	118	36	±0,05	2-3	0,04	0,0016
Eh	Потенциометрический, мВ	10	68	18	±15-20	10	9	81
Окисляемость	Перманганатометрический	-	165	29	±0,2-2	5-10	0,38	0,145
C _{орг.}	Сжигания сухого остатка	0,2	93	20	±0,2-1,0	2-5	0,31	0,096
N _{орг.}	Видоизмененный метод Кьельдаля	0,2	29	5	±0,05	10-15	0,026	0,0007
C _{орг. низкомолекулярных летучих соединений}	Сжигание в парах воды	0,5	22	10	±0,5-1	5-10	0,68	0,46
CO ₂	Объемный	1	76	10	±0,5-1,5	10-15	0,92	0,85
б ₂	Объемный иодометрический	1	78	10	±0,5-1	5-10	0,68	0,46
HCO ₃ ⁻	Объемный	0,5	175	17	±0,5-1	2-7	0,89	0,78
Cl ⁻	Турбидиметрический	0,05	87	12	±0,02-0,05	10-20	0,03	0,0009
Cl ⁻	Меркуриметрический	0,15	85	20	±0,05-0,1	20	0,06	0,004
SO ₄ ²⁻	Турбидиметрический	0,4	165	35	±0,05-1	5-10	0,44	0,18
Na ⁺	Метод пламенной фотометрии	0,01	105	10	±0,05-0,20	10-15	0,13	0,018
K ⁺	Метод пламенной фотометрии	0,005	105	10	±0,05-0,20	10-15	0,10	0,010
Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Трилонометрические, мг. экв/л	0,02	165	25	±0,01-0,03	5	0,026	0,0007
Fe ²⁺	Колориметрический а, а' - дипиридиллом	0,01	128	20	±0,005-0,05	5-10	0,014	0,0002
Fe ³⁺	Роданидный	0,020	212	25	±0,005-0,05	10-15	0,023	0,0005
Al	Алюминоновый	0,02	152	20	±0,01-0,05	5-10	0,032	0,001
H ₂ SiO ₃	По желтому Si-Мо-комплексу	0,5	185	30	±0,5-1	2-5	0,35	0,122
Cu	Диэтилдитиокарбонатный, мкг/л	1,0	64	20	±0,5	10	0,50	0,25
Zn	Дитизионовый, мкг/л	2,0	76	26	±1	10	0,50	0,25
B	Карминовый, мкг/л	2	32	9	±1	10	1,18	1,38

внесены некоторые изменения и дополнения, необходимые при анализе ультрапресных вод с большим содержанием органических веществ. Колориметрирование производилось в цилиндрах Генера и на фотоколориметре. Na и K определялись методом пламенной фотометрии.

Для характеристики количественного и качественного состава органических веществ использовались методы определения перманганатной окисляемости в кислой среде (Резников, Муликовская, 1963 г.); $C_{орг.}$ сухого остатка (Бродовская, 1961 г.); $C_{орг.}$ соединений, летучих с парами воды (Быкова и др., 1969); $N_{орг.}$ (Дудова, 1963); $C_{орг.}$ гуминовых и фульвокислот (Семенов, Ивлева и др., 1962); органических кислот низкомолекулярных и капиллярно-люминесцирующей доли органических веществ (Быкова, 1961).

Для определения форм миграции элементов, кроме диализа, применялись методы экстракции органическими растворителями при различных значениях pH и методы ионного обмена.

СВЯЗЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА УЛЬТРАПРЕСНЫХ ВОД С АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ

Имеется несколько работ по химическому составу атмосферных осадков на территории Восточной Сибири (Вотинцев, 1954; Фотиев, 1965; Богданова, 1967). Авторы отмечают большую роль атмосферных осадков в формировании химического состава трещинных вод коры выветривания горных сооружений Забайкалья. Считается, однако, что состав пород не оказывает решающего влияния на химический состав этих вод. Метаморфизация атмосферных осадков, проникающих в почву и кору выветривания, проявляется, прежде всего, в увеличении их минерализации. Соотношение же ионов остается постоянным, т.е. тип воды сохраняется (Богданова, 1967).

Наиболее полные сведения о химическом составе атмосферных осадков территории Якутской АССР приведены в монографии С.М. Фотиева. Этим исследователем в 1960 г. были проведены работы по изучению химического состава и степени минерализации различных атмосферных осадков (дождя, снега, града) в районе пос. Чульман, находящегося в 120 км к югу от нашего участка работ. Было отобрано 34 пробы дождевых вод и снега. На основании данных химического анализа (определено шесть компонентов, щелочи взяты по разности) автор делает ряд выводов по химии вод атмосферы и их роли в формировании отдельных типов подземных и поверхностных вод.

1. Атмосферные осадки имеют преимущественно незначительную минерализацию — до 10 мг/л; эта величина уменьшается в процессе выпадения осадков. Существенного различия в минерализации ливневых и обложных дождей не наблюдается.

2. Несмотря на значительные колебания в содержании отдельных ионов, состав осадков имеет хорошо выраженную закономерность. В наименее минерализованных водах (до 10 мг/л) типичны следующие соотно-

шения ионов (% экв.): $\text{Na} + \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}$ или $\text{Ca} > \text{Na} + \text{K} > \text{Mg}$ $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ или $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$. В наиболее минерализованных водах (более 20 мг/л) в большинстве случаев сохраняется отношение $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} + \text{K}$ и $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$.

3. В воде грозовых дождей в результате образования окислов азота при атмосферных разрядах увеличивается содержание NO_2^- до 0,1 мг/л.

4. Характерной особенностью дождевых вод Южной Якутии является незначительное, по сравнению со средним для территории СССР, содержание сульфат-иона. Причина низкого содержания сульфата в значительной удаленности Южной Якутии от морских бассейнов и крупных промышленных центров.

5. Атмосферные осадки в пределах Чульманской впадины по составу и степени минерализации нередко идентичны поверхностным водам некоторых рек и озер.

Автор считает, что изменение химического состава и степени минерализации воды сезоннодействующих водоносных горизонтов в некоторых случаях обуславливается только изменением состава атмосферных осадков, а не длиной пути фильтрации подземных вод в толще антропогенных отложений или трещинных пород.

В приведенных автором данных химического состава атмосферных осадков содержание хлор-иона явно завышено, что связано с применением объемного аргентометрического метода определения. Натрий и калий определены по разности, поэтому включают ошибку определения всех компонентов. Трудно разделить точку зрения автора о том, что химический состав атмосферных осадков является единственным фактором, определяющим химизм подземных вод неглубокого стока. Нами выполнен анализ дождевой воды и образованного ею временно действующего небольшого водотока с дебитом 0,2 л/сек. Даже такой кратковременный (20–30 мин) контакт дождевой воды с породой приводит к обогащению ее рядом компонентов HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , H_2SiO_3 , минерализация увеличивается более, чем в два раза. Тип воды изменился от бикарбонатно-магниево-кальциевой к бикарбонатно-магниево-натриевой.

Химический состав атмосферных осадков, отобранных на территории описываемых ландшафтов¹, представлен в табл. 16. По ионам общей минерализации собранные нами дождевые воды относятся к гидрокарбонатно-кальциевым или гидрокарбонатно-магниевым. Химический состав их со временем существенно не изменялся.

Растворенные в атмосферных осадках органические вещества вообще изучены весьма слабо. Сведения по содержанию органических веществ в осадках Южной Якутии или сходных с ней районов отсутствуют.

А.Д. Семеновым, Л.Н. Немцовой и др. (1966) в атмосферных осадках г. Новочеркаска и Дубровской гидрометеообсерватории (Ростовская область) были обнаружены от 0,03 до 0,30 мг-экв/л органических кислот. Из летучих кислот методом газо-жидкостной хроматографии были обнаружены уксусная, масляная, валериановая, капроновая кислоты. Содер-

¹ Для сбора атмосферных осадков применена высоко поднятая над землей и укрепленная на специальной раме полиэтиленовая пленка.

Таблица 16

Химический состав атмосферных осадков северо-таежных мерзлотных ландшафтов Южной Якутии*, мг/л

Число проб	Дата отбора	pH	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	H_2SiO_3	Ca^{2+}
3	1962	5,66	3,86	0,22	0,72	—	0,29
5	1965	5,50	2,84	0,04	0,40	< 0,5	0,30
4	1967	5,75	4,10	0,08	0,50	< 0,5	0,35

* Анализы автора.

Таблица 16 (окончание)

Число проб	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Fe^{3+}	Al^{3+}	Окисляемость, O	Сумма растворенных веществ
3	0,06	1,50		—	—	—	6,65
5	0,21	0,31	0,12	0,05	0,02	1,86	4,17
4	0,06	0,10	0,29	0,02	0,015	3,60	6,06

жание органического углерода нелетучих соединений составляло 4,8–17,4 мг/л.

В дождевых водах (средняя проба из нескольких дождей) Южной Якутии нами определено общее содержание органического углерода, равное 3,38 мг/л, из них около 1 мг/л приходится на долю летучих кислот (низкомолекулярные кислоты жирного ряда, оксикислоты, аминокислоты). Перманганатная окисляемость колеблется в пределах 1,80–3,60 мг/л O. Отношение суммарного количества минеральных веществ к суммарному количеству органических составляет 1,30–1,80. Источником органических веществ в атмосферных осадках являются золотые взвеси, летучие органические вещества, образующиеся при разложении растительных и животных организмов в результате выделения растениями при жизни различных соединений.

Таким образом, химический состав атмосферных осадков необходимо учитывать при изучении геохимии ультрапресных вод и рассматривать его как некоторый фон, на котором происходят все дальнейшие гидрохимические изменения в ландшафте.

На рис. 4—6 представлены ландшафтно-геохимические профили рассматриваемых участков работ, которые образуют систему геохимически сопряженных элементарных ландшафтов. Как известно (Перельман, 1966), элементарные ландшафты связаны между собой поверхностным и подземным стоком, т.е. водной миграцией. На рисунках показано наблюдаемое изменение химического состава вод автономных и подчиненных ландшафтов.

Температурный режим. Вследствие неглубокого залегания мерзлоты и постоянного вытаивания льда воды ландшафтов кислого глеевого класса отличаются низкой температурой. Даже в самое жаркое время температура не поднимается выше $5-6^{\circ}\text{C}$, а изменение от весны к осени незначительно (размах варьирования составляет $2-3^{\circ}\text{C}$).

Отмечается последовательное снижение температуры от водоразделов к основанию склона от $6,4$ до $2,5^{\circ}\text{C}$ и повышение до $5,3^{\circ}\text{C}$ в ручье. Это объясняется различной глубиной залегания мерзлоты, условиями циркуляции и питания водоносных горизонтов в автономных и подчиненных ландшафтах.

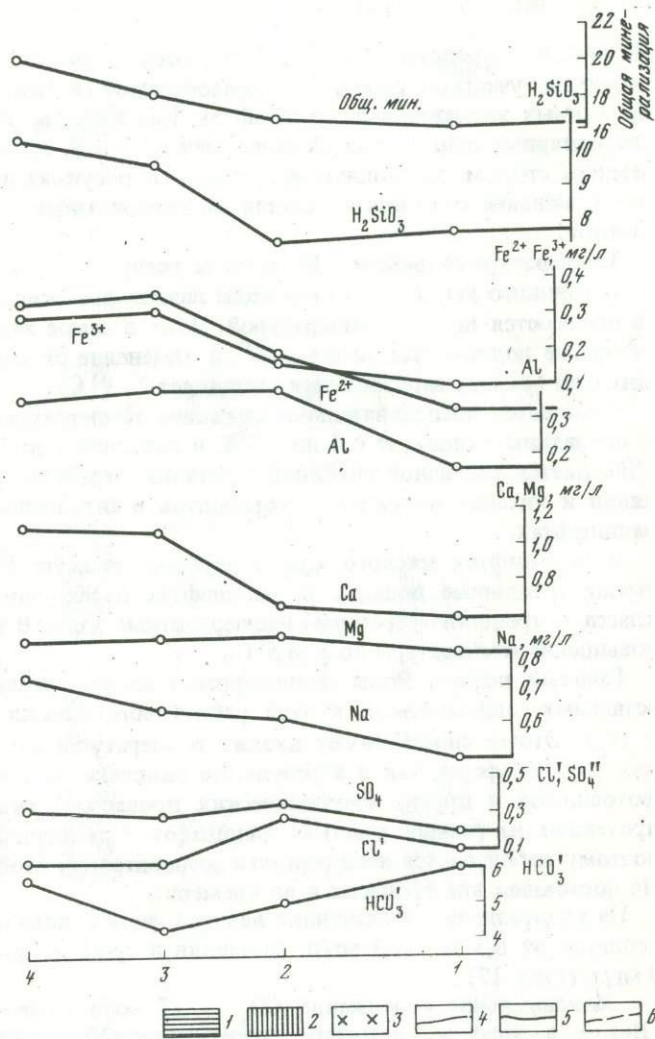
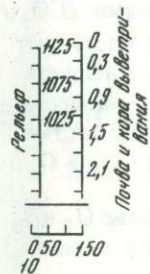
В ландшафтах кислого класса наиболее низкую температуру (1°C) имеют трещинные воды, а в ландшафтах переходного ($\text{H}^+ - \text{Ca}^{++}$) класса — трещинно-карстовые надмерзлотные воды. В ручьях отмечается повышение температуры до $5-6,5^{\circ}\text{C}$.

Газовый режим. Воды ландшафтов кислого глеевого класса более остальных, описываемых в этой работе вод, обогащены газами (CO_2 и O_2). Этому способствуют низкие температуры вод. Газы поступают как из атмосферы, так и в результате окисления органических веществ, фотосинтеза и других биохимических процессов. Указанные процессы протекают на разных участках ландшафта с различной интенсивностью, поэтому наблюдаются неодинаковые концентрации свободных CO_2 и O_2 . Не постоянны эти процессы и во времени.

На водоразделе и в источнике верхней части склона содержание O_2 колеблется от $6,3$ до $12,3$ мг/л, составляя в среднем для летних месяцев 9 мг/л (табл. 17).

Максимальное содержание CO_2 — 17 мг/л отмечено осенью 1964 г. Летом в этом же источнике содержание CO_2 в среднем составляет $11,6$ мг/л. Вода этого источника наиболее богата органическими веществами, CO_2 является продуктом их разложения и максимально накапливается к осени. Этому способствует понижение температуры воды осенью и подпитывание источника водами более глубоких почвенных горизонтов деятельного слоя. В небольшом торфяном углублении, заполненном водой этого источника, можно наблюдать выделение газовых пузырьков. Однако концентрация свободной углекислоты не столь велика, как можно было бы ожидать при такой высокой насыщенности воды и поч-

¹ При описании водной миграции в геохимическом сопряжении нами использованы средние данные по летнему периоду.

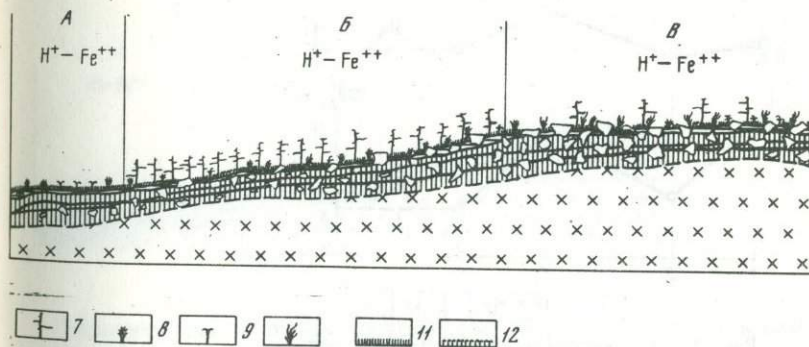
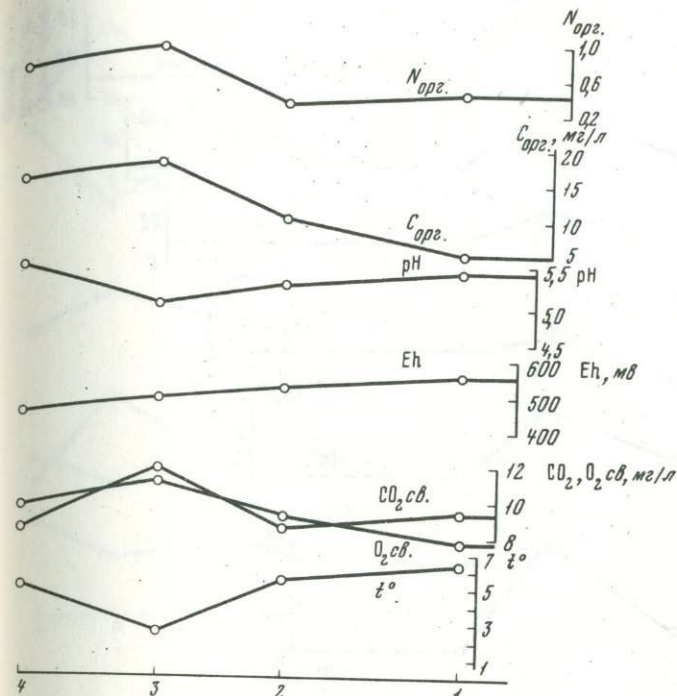


Р и с. 4. Ландшафтно-геохимический профиль (Перельман, 1966)

1 - кристаллические сланцы, 2 - кислая глеевая кора выветривания, 3 - границы почвенных горизонтов и коры выветривания, 4 - уровень залегания много-

вы органическими веществами. Причина состоит в заторможенности окисления органических веществ из-за низких температур. Повышение (по сравнению с летним периодом) содержания CO_2 до 11,40 мг/л отмечается также осенью в ручье.

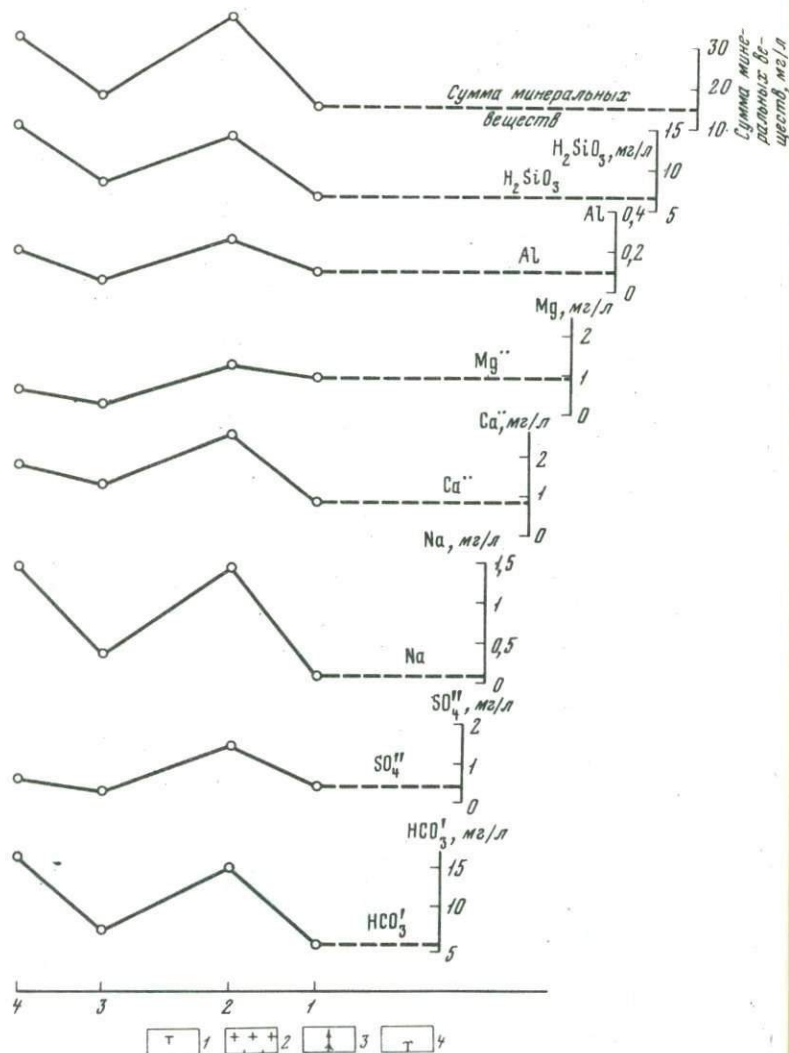
Содержание свободной углекислоты в грунтово-трещинных водах ландшафтов кислого класса уменьшается от верхней части склона (9,7 мг/л) к нижней (5,25 мг/л) и далее к ручью (2,60 мг/л). Но в источ-



летней мерзлоты, 5 - возможный уровень залегания многолетней мерзлоты, 6 - лиственница даурская, 7 - ель, кедровый стланик, 8 - ива кустарниковая, 9 - карликовая береза, 10 - мхи, 11 - лишайники

нике почвенных вод нижней части склона содержание растворенной углекислоты очень высокое, составляет 25,40 мг/л, что связано с большим содержанием органических веществ и процессами их окисления (рис. 5), табл. 18, 19). Минимальное количество углекислоты (1,80 мг/л) содержат трещинно-карстовые воды.

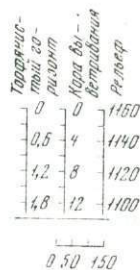
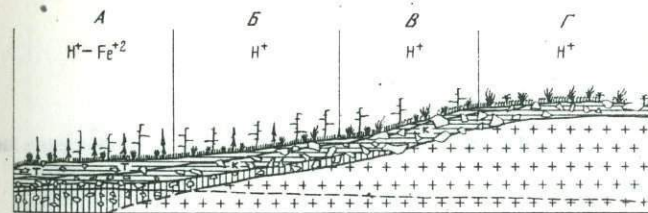
Концентрация свободного кислорода в водах близка к предельному насыщению в зоне аэрации при данной температуре (Алекин, 1953). Его



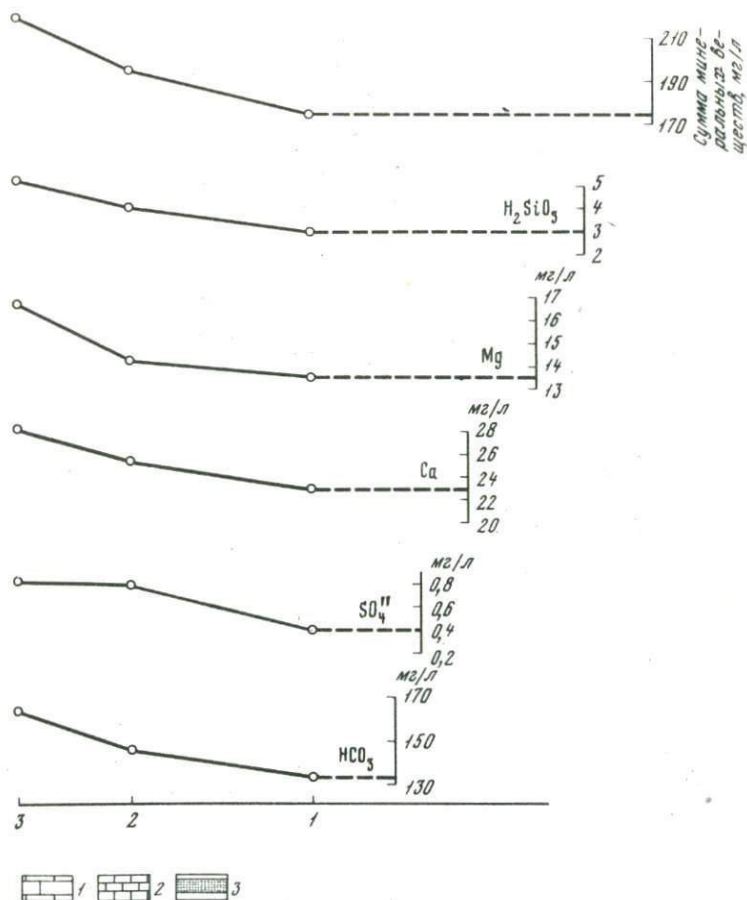
Р и с. 5. Ландшафтно-геохимический профиль
Условные обозначения см. рис. 4

содержание возрастает от автономного (7,20 мг/л) к подчиненному ландшафту (11,02 мг/л), что связано с понижением температуры и увеличением аэрации (рис. 5). Но в отдельных источниках почвенных вод наблюдаются довольно низкие содержания кислорода — 2,5–5 мг/л.

Таким образом, низкие температуры и энергичная аэрация вод способствуют повышенной растворимости кислорода, а заторможенность процессов окисления органических веществ из-за низких температур снижают его расход в этих реакциях. Иначе говоря, скорость окисления органических веществ не лимитируется содержанием кислорода.



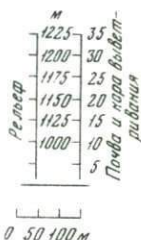
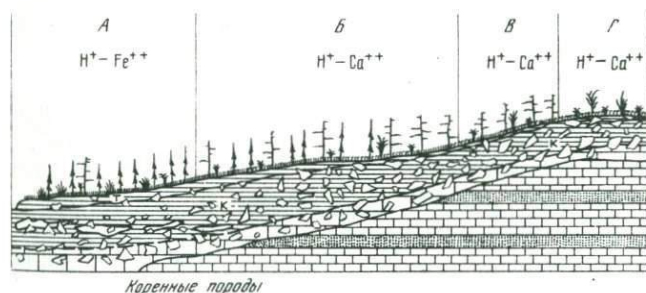
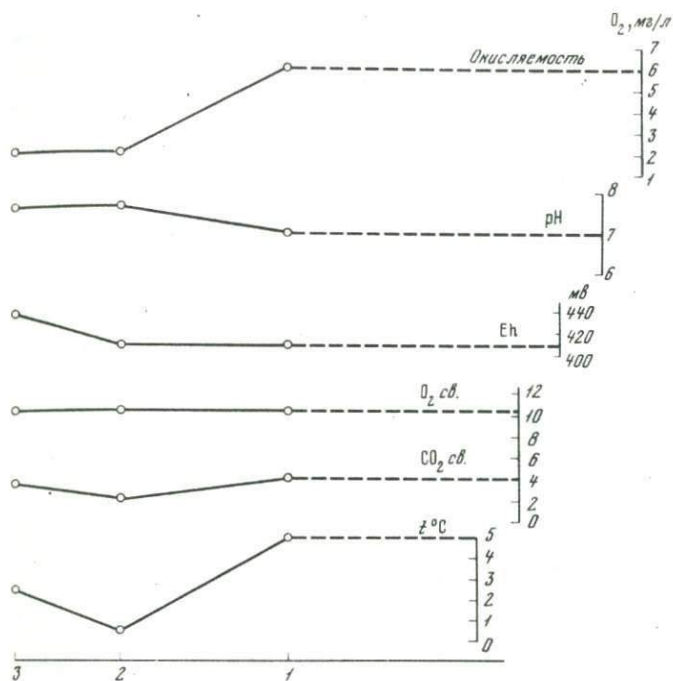
Величина pH в водах ландшафтов кислого глеевого класса изменяется в пределах 4,00–5,80. Минимальное ее значение отмечено в источниках почвенных вод у подножья заболоченного склона (см. рис. 4). pH грунтово-трещинных и трещинных вод 6,1–6,90, а трещинно-карстовых — 7,60–7,80. Этот показатель тесно коррелируется с содержанием органических веществ и свободного CO₂ (рис. 7). Низкие значения pH влияют на ход окислительно-восстановительных процессов таким образом, что в наших водах возможны некоторые восстановительные процессы при наличии свободного кислорода в условиях положительного значения Eh (Перельман, 1966). Это является одной из причин повышения интенсивности миграции ряда компонентов (железа, марганца).



Р и с. 6. Ландшафтно-геохимический профиль (по Филимоновой, 1975) и изменение химического состава вод элементарных ландшафтов переходного (H^+ - Ca^{++}) класса
Условные обозначения см. рис. 4

Ионный состав

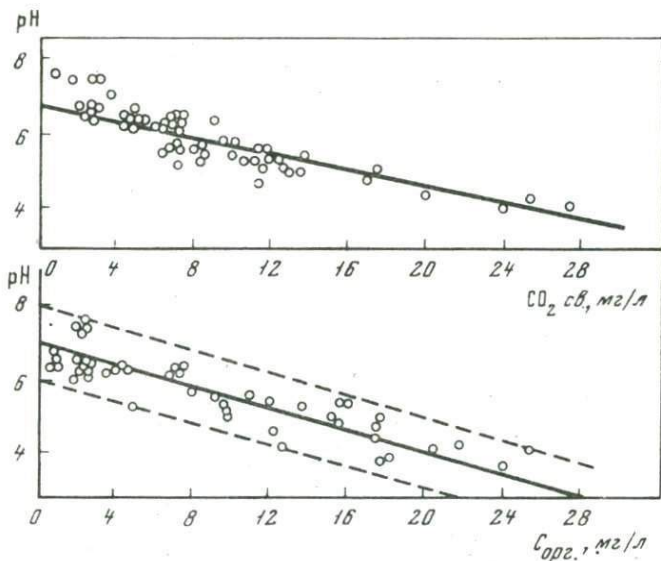
Анионный состав и карбонатное равновесие. В анионном составе вод ландшафтов кислого глеевого класса главная роль принадлежит органическим анионам. Среди неорганических анионов преобладает HCO_3^- — ион, в данном случае несомненно биогенно-воздушного происхождения. Содержание HCO_3^- — иона колеблется в пределах 4,2–6,0 мг/л. Наблюдается понижение его содержания от автономных к подчиненным ландшафтам. Минимум зафиксирован у подножья склона (см. рис. 4). Основной формой угольной кислоты в ультрапресных водах ландшафтов кислого глеевого класса является CO_2 и H_2CO_2 , т.е. карбонатное



равновесие сдвинуто в сторону образования H_2CO_3 . Это существенно отличает эти воды от вод остальных описываемых ландшафтов.

Содержание сульфат-иона очень невелико (0,2–0,5 мг/л). Оно повышается от водораздела к подчиненным позициям. Сульфат поступает при биохимическом разложении белковых веществ, а также с атмосферными осадками. Количество хлор-иона мало (0,05–0,3 мг/л) и почти равно содержанию его в атмосферных осадках. Анион азотистой кислоты в водах не обнаружен.

Содержание нитрат-иона также очень незначительно – 0,07–0,2 мг/л ($1,1 \cdot 10^{-3}$ – $3,2 \cdot 10^{-3}$ мг-экв/л) и уменьшается от верхней части склона к ручью, что связано с поглощением его растениями. Такие незначительные содержания этих анионов свидетельствуют о низких степенях



Р и с. 7. Зависимость pH от содержания CO₂ и C_{орг} в водах северо-таежных мерзлотных ландшафтов Алданского нагорья

окисленности органических веществ и скорости биологического круговорота элементов. Основным источником поступления этих ионов являются атмосферные осадки.

Содержание фосфат-иона составляет $9 \cdot 10^{-3}$ – $11 \cdot 10^{-3}$ мг/л.

Таким образом, для этих вод характерно следующее соотношение анионов (в % эквивал.): анионы органических кислот $> \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$. В анионном составе вод ландшафтов кислого класса преобладает бикарбонат-ион, содержание которого составляет от 5,34 мг/л до 16,23 мг/л (выше 90%-эквив.). Содержание этого иона для грунтово-трещинных вод повышается от автономных ландшафтов к подчиненным.

Содержание сульфат-иона во всех водах низкое от 0,20 мг/л до 2,0 мг/л, повышается от автономных к подчиненным ландшафтам (рис. 5) и сокращается в почвенных водах и в реке, где концентрация этого иона близка к концентрации в атмосферных осадках.

Хлор определен в количествах "следов", а фосфат – 1 – $1,5 \cdot 10^{-2}$ мг/л. В водах ландшафта кислого класса такое же соотношение неорганических анионов, как и в водах ландшафта кислого глеевого класса: $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$, а для вод, связанных с рудоносными ландшафтами, – $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$.

В анионном составе вод ландшафтов переходного ($\text{H}^+ - \text{Ca}^{++}$) класса абсолютно преобладает бикарбонат-ион, составляющий 99,5%-экв., на долю сульфата приходится ничтожно малая часть – 0,5–0,8 %-экв. Концентрация бикарбонат-иона возрастает на несколько десятков мг от

Таблица 21

Соотношение между содержанием кальция и магния в ультрапресных водах ландшафта кислого глеевого класса

Проба	Ca ²⁺		Mg ²⁺		Ca + Mg
	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг-экв/л
0709	0,80	0,04	0,24	0,02	0,06
0777	0,40	0,02	0,49	0,04	0,06
Среднее летнее	0,60	0,03	0,36	0,03	0,06
0552	0,70	0,035	0,50	0,045	0,08
0708	1,00	0,05	0,10	0,01	0,06
0776	0,40	0,02	0,85	0,07	0,09
Среднее летнее	0,70	0,035	0,50	0,045	0,08
0710	1,20	0,06	0,20	0,02	0,08
0775	0,40	0,02	0,97	0,08	0,10
0875	0,40	0,02	1,82	0,15	0,17
0975	0,96	0,048	0,54	0,04	0,052
Среднее летнее	1,10	0,054	0,48	0,04	0,94
1775	1,72	0,086	0,27	0,02	0,11
0553	1,11	0,055	0,50	0,04	0,095
0706	1,00	0,050	0,20	0,02	0,07
0774	0,40	0,020	0,67	0,06	0,08
0874	0,40	0,020	2,07	0,17	0,19
0974	1,60	0,080	0,33	0,03	0,11
1774	2,16	0,11	0,20	0,02	0,13
Среднее летнее	1,15	0,023	0,39	0,033	0,056

почвенно-грунтовых вод к речным; также, но очень незначительно увеличивается содержание сульфат-иона (рис. 6). Количество фосфат-иона невелико ($1 \cdot 10^{-2}$ мг/л) и стабильно. Хлор-ион определен в количествах "следов" (табл. 20).

Катионный состав. В большинстве случаев в водах ландшафтов кислого глеевого класса преобладает кальций (38–47% экв.), подчиненное положение занимают магний (26–35% экв.) и натрий (22–27% экв.). Для подавляющего большинства источников выдерживается соотношение $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^{+}$. Как видно из рис. 4, содержание этих катионов повышается от автономных к подчиненным ландшафтам.

Заслуживает особого рассмотрения вопрос о взаимосвязи кальция и магния в водах ландшафтов кислого глеевого класса. Отмечаются пониженные содержания кальция осенью (пр. 0875, 0874, табл. 21) и повышенные весной (пр. 0975, 0974), что объясняется, возможно, поглощением его растениями в летний период. Обогащение вод магнием осенью связано с криогенной метаморфизацией растворов (Власов, Павлова, 1969).

Анализ данных табл. 21 показывает, что эти два катиона взаимно дополняют друг друга в растворе: недостаток одного компенсируется увеличением другого и наоборот, т.е. между этими компонентами наблюдается антибатная зависимость. Содержание натрия и калия сохранилось постоянным в период исследования. Анализ табл. 21 вскрывает также интересную закономерность циклических годовичных колебаний содержания кальция и магния в ультрапресных водах ландшафтов кислого глеевого класса. Эта закономерность хорошо подтверждается для пятилетнего периода наших полевых работ в Южной Якутии (1962–1967). Причина возникновения годовичных циклов концентраций кальция и магния в ультрапресных водах еще недостаточно ясна, требуются дальнейшие исследования в этом направлении. По-видимому, периодичность поступления кальция в раствор и извлечение этого элемента из раствора связаны с циклическостью биологического круговорота и метаморфизацией растворов при замораживании и оттаивании.

Поступление в воды кальция, магния, натрия, калия также связано с влиянием биологического круговорота; биогенно-воздушные мигранты воздействуют на формирование химического состава вод. Поэтому для ультрапресных вод особое значение приобретает степень насыщенности компонентами биогенно-воздушного происхождения (O_2 , CO_2 , $N_{орг}$, $C_{орг}$, HCO_3^- , NO_3^- , NO_2^-), как факторы, влияющего на формирование их химического состава и определяющего ряд других физико-химических и геохимических характеристик (рН, Е форм миграции).

Для вод ландшафтов кислого класса характерно такое соотношение катионов, при котором сумма процент-эквивалентов кальция и магния превышает процент-эквивалентное содержание натрия.

Натрий занимает подчиненное положение, составляя от 4 до 33%-экв., а для наиболее распространенных в этом ландшафте вод 22–27%-экв. Причем абсолютные содержания натрия в этих водах близки между собой и не изменялись на протяжении четырехлетнего исследования.

Наблюдается обогащение вод щелочными и щелочноземельными элементами от водораздела к долине (рис. 5). Максимальные концентрации натрия, кальция, магния отмечаются в грунтово-трещинных водах нижней части склона, минимальные — почвенно-грунтовых. Для грунтово-трещинных вод содержание кальция и магния не зависит от концентрации свободной углекислоты, органических веществ и величин рН, т.е. воздействие биогенно-воздушных мигрантов на поступление в воды этого ландшафта щелочных и щелочноземельных элементов проявляется значительно слабее, чем в водах ландшафтов кислого глеевого класса.

Для почвенных вод подчиненного ландшафта характерно такое же распределение кальция и магния, как в водах ландшафтов кислого глеевого класса.

В катионном составе грунтово-трещинных и речных вод кальций и магний составляют в сумме 70–80%-экв., не изменяясь год от года и от весны к лету в период наших наблюдений. Но между собой соотношение этих катионов меняется в довольно широких пределах. Летом 1963 г. формировались воды кальциевого состава (пр. 0705, 0703).

в 1964 г. — магниевого состава, что, по-видимому, связано с интенсивным поглощением кальция из вод растениями и микроорганизмами в летний период и криогенный метаморфизацией растворов (Власов, Павлова, 1969). Интересно отметить, что для этих лет такой же цикл наблюдался и в водах ландшафтов кислого глеевого класса. В 1976 г. преобладали воды кальциевого состава (пр. 1753 н-з) или близкие к равным концентрациям (1740, 1941, 1742, 1758). Таким образом, в этих водах также наблюдаются циклические годовые колебания содержания кальция и магния. В катионном составе вод, связанных с рудоносными магnezильными скарнами, преобладает магний.

Катионы вод — кальций и магний — составляют в сумме 99–99,5%-экв., на долю натрия и кальция приходится всего 0,5–1%-экв. Кальций и магний присутствуют почти в равных эквивалентных количествах, содержание этих катионов несколько (на 4–6 мг/л) увеличивается вниз по склону (рис. 6) пропорционально возрастанию величины рН и количеству бикарбонат-иона.

Железо. Характерной особенностью химического состава вод этого ландшафта является довольно высокое, по сравнению с остальными описанными в этой работе водами, содержание железа (до 0,7 мг/л). Содержание двухвалентного железа изменяется в пределах от 0,03–0,05 мг/л до 0,50 мг/л от автономных к подчиненным ландшафтам (рис. 4). Главной причиной повышенного содержания железа является интенсивный процесс комплексобразования с органическими веществами. Увеличение концентраций органических комплексобразователей приводит к резкому повышению содержания железа в водах.

Отличительной особенностью химического состава вод кислых непереувлажненных ландшафтов является низкое содержание в них железа. Концентрация закисного железа лежит в пределах чувствительности анализа 0,01–0,02 мг/л, а окисного — несколько выше — 0,05 мг/л для отдельных проб, в среднем же 0,02–0,026 мг/л. Основной причиной низкого содержания железа является осаждение его органо-минеральных соединений и органических веществ на окислительном барьере.

Необходимо отметить довольно высокое содержание железа в грунтово-трещинных опалесцирующих водах (табл. 22).

Причиной повышенного содержания железа является не только увеличение концентрации органических комплексобразователей (пр. 0763, 0762), но и интенсивная миграция этого элемента в виде минеральных коллоидов в опалесцирующих водах (пр. 0701–0761, табл. 22), источники которых, по-видимому, связаны с зонами тектонических нарушений. Скорее всего опалесценция и вызвана в основном коллоидами железа, повышенное содержание которого всегда сопутствует опалесценции.

Алюминий. Количество алюминия в водах ландшафтов кислого глеевого класса составляет от 0,25 до 0,60 мг/л. При этом его концентрация в подчиненных ландшафтах возрастает не на один-полтора порядка, как для железа, а всего в 2,0–2,5 раза (рис. 4).

Концентрация алюминия в водах ландшафта кислого класса колеблется в пределах от 0,015 до 0,476 мг/л, увеличиваясь в опалесцирующих водах и в водах с повышенным содержанием органических веществ.

Таблица 22

Содержание железа в грунтово-трещинных опалесцирующих водах мерзлотно-таежных ландшафтов, мг/л

Проба	Гидрогеологический тип и водопункт	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Fe _{общ.}
0701	Источник грунтово-трещинных вод, подчиненный ландшафт геохимического сопряжения кислого глеевого класса	0,135	0,290	2,34
0761		< 0,02	0,145	1,61
0732		0,02	0,149	1,46
0861		0,02	0,160	0,743
0961		0,06	0,146	0,731
1761	Источник грунтово-трещинных (частично грунтово-почвенных вод в углублении среди мхов, подчиненный ландшафт геохимического сопряжения кислого класса	0,06	0,125	2,27
1755		0,06	0,143	0,472
1740		0,048	0,129	0,880
1742		< 0,02	0,065	0,450
15"0"		0,073	0,118	0,650

* Анализы автора, 1963—1965, 1967 гг.

Связь алюминия с органическим веществом проявляется слабее, чем железа. Поэтому вынос этого элемента из пород меньше зависит от насыщенности вод биогенными компонентами, но не отрицается совсем: наблюдается двух-трехкратное повышение его содержания в водах, богатых органическими веществами.

Кремний является одним из главных компонентов минерализации ультрапресных вод мерзлотно-таежных ландшафтов Южной Якутии, составляя в большинстве вод (кроме вод ландшафтов переходного H^+ — Ca^{++} класса) примерно половину суммы растворенных минеральных веществ.

Содержание H_2SiO_3 в водах зависит от литолого-петрографического состава водовмещающих пород (Всеволожская, 1973): максимальная концентрация H_2SiO_3 характерна для вод гранитов и сильно гранитизированных пород.

В водах ландшафтов кислого глеевого класса содержание кремния колеблется в пределах 8—11 мг/л H_2SiO_3 , увеличиваясь от водораздела к долине. Увеличение его содержания к подчиненным ландшафтам связано с удлинением пути фильтрации и, следовательно, временем контакта с породами. Некоторое повышение содержания этого компонента осенью объясняется, вероятно, большей глубиной протаивания деятельного слоя и выносом вещества из менее выщелоченных горизонтов.

В водах ландшафтов кислого класса кремний составляет 30–40% общей суммы растворенных минеральных веществ. Содержание его колеблется в пределах от 6,60 мг/л для вод верхней части склона до 15,65 мг/л в р. Б. Леглиер (рис. 5). Наиболее обогащены кремнием трещинные воды – 26 мг/л H_2SiO_3 . Однако в целом по содержанию кремния воды ландшафтов кислого класса не столь резко отличаются от вод ландшафтов кислого глеевого класса, что также свидетельствует о малой зависимости миграции кремния от насыщенности биогенно-воздушными компонентами и в частности органическими веществами.

Из всех рассматриваемых в этой работе вод воды ландшафта переходного ($H^+ - Ca^{++}$) класса наиболее бедны кремнием, который составляет 2–4% от общей суммы минеральных веществ. Содержание кремния увеличивается в 1,5–2 раза от средней части склона к ручью (рис. 6), что связано с увеличением времени контакта вод с породами, содержащими горизонты песчаников.

Сумма растворенных веществ. Количество растворенных минеральных веществ в водах северо-таежных мерзлотных ландшафтов определяется низкой температурой, высоким отношением осадков к испарению и существенно обломочным составом рыхлых продуктов, которые вследствие этого имеют хорошую проницаемость и низкую удельную поверхность, а также биологическим круговоротом. Эти факты, играющие главную роль в обогащении вод минеральными компонентами, не способствуют интенсивному насыщению растворов литогенными мигрантами. Преобладание первичных хорошо обнаженных минералов оказывает противоположное действие. Из всех описанных в этой работе ландшафтов ландшафты кислого глеевого класса отличаются наименьшей минерализацией вод (14–23 мг/л). Летом минерализация составляет 16,5–21 мг/л, осенью увеличивается на 5–8 мг/л (см. рис. 4). Сумма минеральных веществ возрастает от автономных ландшафтов к подчиненным, но увеличение этого показателя невелико (не пропорционально возрастанию пути фильтрации и времени взаимодействия с почвами и породами). Насыщенность вод газами и органическим веществом усиливает их агрессивность, но последняя из-за недостатка тепла реализуется слабо.

Сухой остаток, полученный при $105^{\circ}C$, имеет коричнево-черный цвет, а после прокаливании при $450^{\circ}C$ становится буровато-красным и теряет в весе 1/2–2/3.

Соотношение общего содержания органических и минеральных компонентов в водах мы предлагаем выражать органо-минеральным коэффициентом (ОМК)

$$ОМК = \frac{\text{сумма органических веществ (мг/л)}}{\text{сумма минеральных веществ (мг/л)}}$$

Сумма органических веществ может быть получена умножением $m_{орг}$ на 2 (Скопинцев, 1950) или по разности веса сухого остатка при $105^{\circ}C$ и $450^{\circ}C$ (с учетом потери летучих минеральных веществ при прокаливании). Органо-минеральный коэффициент этих вод равен 0,59–

2,57, увеличиваясь от автономных ландшафтов к подчиненным. Органические вещества составляют 37–75% от общего содержания растворенных в воде веществ.

Воды ландшафта кислого класса в 1,5–2 раза более минерализованы, чем воды ландшафта кислого глеевого класса. Общая сумма растворенных минеральных веществ по данным химического анализа составляет для летнего периода 14,80 мг/л для вод верхней части склона и 33–36 мг/л для вод нижней части склона и реки.

Воды этих ландшафтов значительно меньше насыщены органическими компонентами, чем воды ландшафтов кислого глеевого класса. Сухой остаток грунтово-трещинных и речных вод при прокаливании до 450°C теряет в весе не более 1/4–1/5, органические вещества составляют от 11 до 28%, а органо-минеральный коэффициент (ОМК) этих вод равен 0,12–0,41, т.е. минеральные вещества преобладают над органическими в 2,5–8,5 раза. Такая низкая насыщенность этих вод биогенными компонентами, в том числе органическими веществами, существенно отличает их от вод ландшафтов кислого глеевого класса. Воды, связанные с магнезиальными скарнами, отличаются значительно более высокой минерализацией – от 36 до 85 мг/л, что связано с составом ландшафтообразующих пород и увеличением времени контакта их с водами.

Из всех рассматриваемых в этой работе вод трещинные содержат минимальное количество органических веществ ($C_{\text{орг}} < 1$ мг/л) и характеризуются минимальным органо-минеральным коэффициентом (0,01–0,02). В грунтово-трещинных, почвенно-грунтовых водах и ручье органические вещества составляют 10–15% от суммы всех растворенных веществ, а в почвенно-грунтовых болотных водах 38%.

Воды ландшафтов переходного ($\text{H}^+ - \text{Ca}^{++}$) класса имеют самую высокую минерализацию из всех описываемых вод, равную 170–230 мг/л, увеличивающуюся вниз по склону¹.

Как и в водах ландшафтов кислого класса, здесь также наблюдается невысокая насыщенность биогенными компонентами. По мнению Б.В. Посохова (1969) в карбонатной обстановке половина бикарбоната имеет биогенно-воздушное происхождение (в отличие от вод, дренирующих глубоко метаморфизованные кристаллические породы, где весь бикарбонат имеет биогенно-воздушное происхождение) и половина – литогенное, так как наиболее вероятным процессом является переход карбонатов в гидрокарбонаты под действием углекислоты по реакции:



Органо-минеральный коэффициент, вычисленный по данным определения $C_{\text{орг}}$, составляет 0,0218–0,070, повышаясь в почвенно-грунтовых водах, т.е. органические вещества в водах составляют 2–7% от об-

¹ По классификации вод по минерализации эти воды не являются ультрапресными (Резников и др., 1963).

шего количества растворенных веществ. Таким образом, по соотношению минеральных и органических компонентов воды ландшафтов переходного ($H^+ - Ca^{++}$) класса близки к трещинным водам ландшафтов кислого класса.

Микрокомпонентный состав. Агрессивность вод, мощная задержанность и способность торфа удерживать воду, ограниченный смыв суспензий в подпочвенную толщу способствуют обогащению вод ландшафтов кислого глеевого класса микрокомпонентами. Воды содержат богатый спектр микроэлементов (табл. 23). Очевидно, на переход этих элементов в раствор также существенное влияние оказывает насыщенность вод биогенно-воздушными мигрантами. Для большинства микрокомпонентов большое значение приобретает процесс комплекссообразования с органическим веществом и миграция в виде комплексных и внутрикомплексных соединений. Воды автономных ландшафтов содержат меньшие количества микрокомпонентов. По пути движения от автономного ландшафта к подчиненным воды обогащаются микрокомпонентами. Так, в болотной воде нижней части склона повышается содержание стронция, бария, цинка, скандия, иттрия, лантана, титана, свинца, ванадия, ниобия, фосфора, хрома, кобальта, никеля, галлия, циркония. Почти постоянными (с некоторой склонностью к уменьшению) остаются содержания серебра, меди, бора, цезия, олова, мышьяка, молибдена, вольфрама, марганца. Многие из них относятся к элементам сильного биологического накопления.

Воды ландшафтов кислого глеевого класса хорошо отражают литохимический состав пород (обнаружены все элементы, присутствующие в породах) и определяют этим возможность применения гидрогеохимических методов поисков с учетом особенностей этих вод и соответствующих требований к отбору и анализу проб.

Наличие окислительного барьера в коре выветривания ландшафтов кислого класса и меньшая насыщенность вод органическими веществами сказываются и на формировании микрокомпонентного состава: эти воды не содержат столь богатую гамму микроэлементов, как воды ландшафтов кислого глеевого класса. Ниже содержание ряда элементов (меди, кобальта, свинца, марганца, бериллия, серебра (табл. 23)). Сокращение относительного содержания микроэлементов объясняется также и относительно возросшей концентрацией легкоподвижных мигрантов (гидрокарбоната, щелочных и щелочноземельных металлов и кремнекислоты).

В водах автономных ландшафтов концентрация микрокомпонентов значительно ниже, чем в водах подчиненных ландшафтов.

Почвенные воды подчиненных ландшафтов имеют микрокомпонентный состав, близкий к водам ландшафтов кислого глеевого класса. Благодаря большей насыщенности биогенно-воздушными компонентами и подвижной органикой эти воды мобилизуют и выносят большинство химических элементов за пределы ландшафта.

Таким образом, существенные различия этих вод в генетическом отношении, различная полнота связи с почвой и разные содержания органических веществ приводят к формированию в одной и той же ли-

Таблица 23

Микрокомпонентный состав ультрапресных вод и горных пород северо-таежных

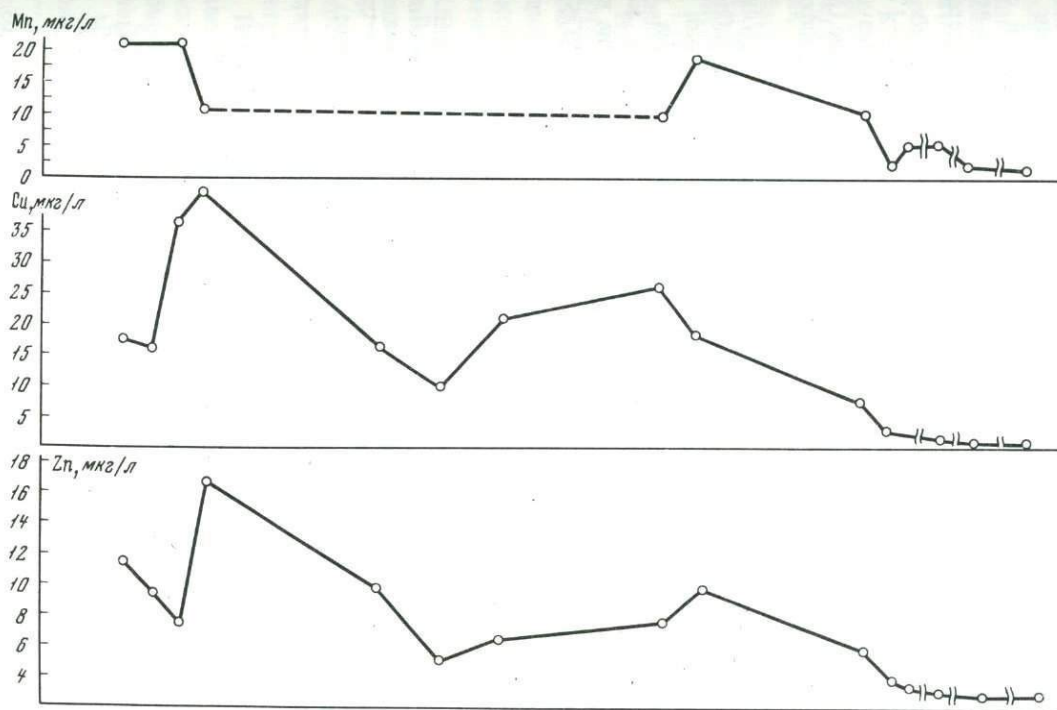
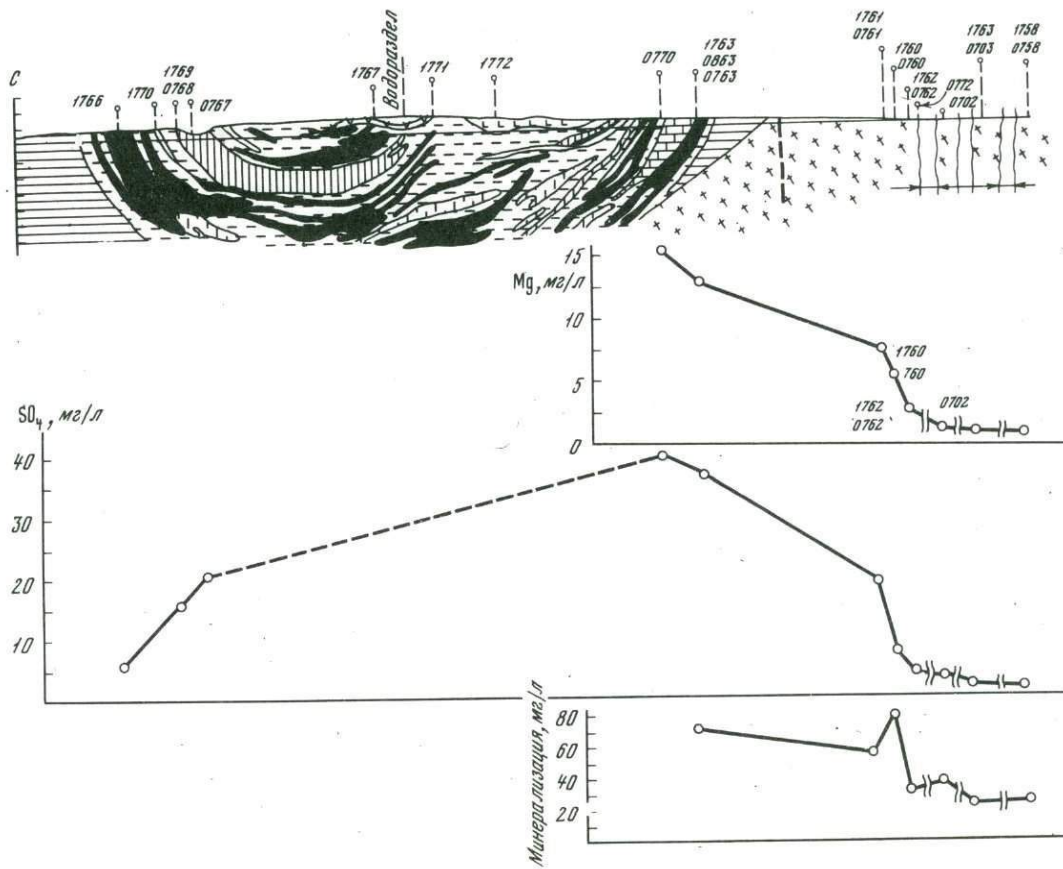
Проба	Ландшафты кислого глеевого класса			
	0710—0975 (среднее из 5 проб)		0553—0974 (среднее из 5 проб)	
Генетический тип вод; ландшафто-образующие породы	Источник почвенно-грунтовых вод на заболоченном склоне		Устье небольшого ручья	
Компоненты	вес. %	мкг/л	вес. %	мкг/л
Титан	$7 \cdot 10^{-2}$	7	$7,4 \cdot 10^{-2}$	8,5
Марганец	$3,5 \cdot 10^{-2}$	3,5	$9,6 \cdot 10^{-2}$	11
Фосфор	$9 \cdot 10^{-2}$	9	$1 \cdot 10^{-1}$	12
Барий	$5 \cdot 10^{-2}$	5	$3 \cdot 10^{-2}$	3,5
Стронций	$2 \cdot 10^{-1}$	20	$4,3 \cdot 10^{-2}$	5
Цирконий	$3 \cdot 10^{-3}$	0,3	$8,7 \cdot 10^{-3}$	1
Хром	$2 \cdot 10^{-2}$	2	$1,7 \cdot 10^{-2}$	2
Ванадий	$1,2 \cdot 10^{-2}$	1,2	$8,7 \cdot 10^{-3}$	1
Никель	$1 \cdot 10^{-3}$	1	$8,7 \cdot 10^{-3}$	1
Медь	$1,5 \cdot 10^{-2}$	1,5	$1,8 \cdot 10^{-2}$	2
Цинк	$9 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-1}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-1}$
Олово	$8 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-1}$
Кобальт	$4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-1}$
Иттрий	$2,5 \cdot 10^{-2}$	2,5	$8 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-1}$
Лантан	$1 \cdot 10^{-2}$	1	$4,3 \cdot 10^{-3}$	0,5
Свинец	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	0,5
Галлий	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-2}$
Ниобий	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$9,10^{-4}$	0,1
Скандий	$7 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$
Бор	$3 \cdot 10^{-2}$	3	$7 \cdot 10^{-3}$	0,8
Молибден	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$8,7 \cdot 10^{-4}$	0,1
Мышьяк	$8 \cdot 10^{-3}$	0,8	$1,7 \cdot 10^{-3}$	0,2
Вольфрам	$3 \cdot 10^{-3}$	0,3	$< 5,2 \cdot 10^{-4}$	$< 0,06$
Серебро	$2 \cdot 10^{-4}$	0,02	$8,7 \cdot 10^{-5}$	0,01
Церий	$< 2,7 \cdot 10^{-2}$	$< 2,7$	$< 1,10^{-2}$	$< 1,3$

тохимической обстановке разных по химическому составу, в том числе и по микроэлементам вод. По содержанию микрокомпонентов почвенно-грунтовые воды в сравнении с грунтово-трещинными выглядят как аномальные, что необходимо учитывать при гидрогеохимическом опробовании. В целом воды ландшафта кислого класса хорошо отражают литохимический состав пород, а выходы грунтово-трещинных вод дают возможность поисков слепого оруденения.

мерзлотных ландшафтов Алданского нагорья (безрудные участки)

Кристаллические сланцы (среднее из 6 проб)	Ландшафты кислого класса				
	0757—0757а (среднее из 2 проб)		0704—1754 (среднее из 5 проб)		Граниты (среднее из 7 проб)
	Источник грунтово-трещинных вод		Источник почвенно-грунтовых вод		
вес. %	вес. %	мкг/л	вес. %	мкг/л	вес. %
0,5	$4 \cdot 10^{-2}$	4	$7,2 \cdot 10^{-2}$	8,00	$2,0 \cdot 10^{-1}$
$8,6 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	1,6	$4,5 \cdot 10^{-2}$	6,00	$4,9 \cdot 10^{-2}$
$7,6 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	1,2	$6,8 \cdot 10^{-2}$	7,5	$5,0 \cdot 10^{-2}$
$4,2 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	1,2	$6,4 \cdot 10^{-2}$	7,0	$6,4 \cdot 10^{-2}$
$4,2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	2,0	$6,4 \cdot 10^{-2}$	7,0	$3,1 \cdot 10^{-2}$
$1 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,12	$2,7 \cdot 10^{-3}$	0,3	$1 \cdot 10^{-2}$
$2,2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	0,32	$2,7 \cdot 10^{-2}$	3	$2,5 \cdot 10^{-3}$
$2,8 \cdot 10^{-2}$	$< 1,2 \cdot 10^{-3}$	$< 0,12$	$6,4 \cdot 10^{-3}$	0,7	$3 \cdot 10^{-3}$
$3,5 \cdot 10^{-3}$	—	—	$4,5 \cdot 10^{-3}$	0,5	$2,3 \cdot 10^{-4}$
$5,8 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,1	$9 \cdot 10^{-3}$	1,0	$3 \cdot 10^{-3}$
$8,2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	0,1	$4,5 \cdot 10^{-2}$	5,0	$4,3 \cdot 10^{-3}$
$5,2 \cdot 10^{-4}$	—	—	$2 \cdot 10^{-3}$	0,2	$6 \cdot 10^{-4}$
$3,5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	0,04	$6,4 \cdot 10^{-4}$	0,07	$2,5 \cdot 10^{-4}$
$3,3 \cdot 10^{-3}$	—	—	$5,5 \cdot 10^{-3}$	0,6	$3,7 \cdot 10^{-3}$
$3,6 \cdot 10^{-3}$	—	—	$2,7 \cdot 10^{-3}$	0,3	$4,8 \cdot 10^{-3}$
$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,12	$9 \cdot 10^{-3}$	1,0	$1,4 \cdot 10^{-2}$
$1,9 \cdot 10^{-3}$	—	—	$3,6 \cdot 10^{-4}$	0,04	$2 \cdot 10^{-3}$
$2 \cdot 10^{-3}$	—	—	$6,3 \cdot 10^{-4}$	0,06	$2 \cdot 10^{-3}$
$6 \cdot 10^{-3}$	—	—	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-4}$
$5,2 \cdot 10^{-3}$	—	—	$2,7 \cdot 10^{-2}$	3,0	$1,1 \cdot 10^{-3}$
$1 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-4}$
$1,4 \cdot 10^{-3}$	—	—	$4,5 \cdot 10^{-3}$	0,5	$1,6 \cdot 10^{-3}$
$6 \cdot 10^{-4}$	—	—	$2,7 \cdot 10^{-3}$	0,3	$2 \cdot 10^{-3}$
$< 1 \cdot 10^{-5}$	—	—	$2,7 \cdot 10^{-4}$	0,03	$1 \cdot 10^{-4}$
$< 1 \cdot 10^{-2}$	—	—	$2,9 \cdot 10^{-2}$	3,2	$4,8 \cdot 10^{-2}$

Воды, отобранные на территории месторождения с сульфидной и боратовой минерализацией, содержат значительно большее количество и более широкий спектр микрокомпонентов по сравнению с аналогичными водами безрудных участков (рис. 8). В них обнаружены повышенные концентрации В (в 10 и более раз), Р (в 5 раз), Сu (в 5—10 раз), Cr (3—10 раз), Mg (в 10 и более раз), Zn (5 раз), SO_4^{2-} (в 10 и более раз).



Р и с. 8. Разрез по линии I-I (см. рис. 3) и изменение химического состава вод рудных и безрудных участков месторождения Гаежное

Хорошо отражая особенности литологического состава коренных пород, эти воды вместе с тем обнаруживают ряд типовых признаков, характерных для вод различных ландшафтно-геохимических обстановок. Так, почвенно-грунтовые воды (пр. 0762, табл. 24), содержащие больше биогенных мигрантов по сравнению с пр. 0763 (табл. 24), более обогащены железом, алюминием, титаном, марганцем, ванадием, кобальтом, никелем, медью, серебром, цинком, барием. Это проявление типовых признаков, характерных для вод с повышенным ОМК. С другой стороны, по сравнению с водами безрудных ландшафтов, но равными по величине ОМК, они несут в аномальных количествах компоненты, характерные для рудных тел: магний, сульфат, медь, цинк, никель, хром.

В грунтово-трещинных опалесцирующих водах (пр. 0701—1761, табл. 24) (опалесценция в желтовато-бурых тонах хорошо заметна визуально), по сравнению с неопалесцирующими, но близкими по величине ОМК (0763), обнаружены повышенные концентрации титана, ванадия, фосфора, меди, серебра, цинка, ниобия, марганца, олова, кобальта, никеля.

На связь трещинных вод, изучаемых с этим ландшафте, с рудным телом указывают повышенные содержания бора, сульфата, молибдена, магния, бария, стронция. Однако в отличие от почвенных вод они значительно обеднены медью, алюминием, галлием, титаном, свинцом, хромом, марганцем, железом, кобальтом, никелем, т.е. элементами, которые интенсивно мигрируют в водах с повышенными ОМК. Многие компоненты обнаруживаются в количествах, близких к пределу чувстви-

Таблица 24

Содержание рудных элементов в водах железорудного месторождения с сульфидной и боратовой минерализацией, мкг/л

Элементы	Грунтово-трещинные (частично почвенно-грунтовые) воды		Почвенно-грунтовая вода (пр. 0762, 1762)	Открытый водоток (пр. 0702)
	(пр. 0763, 1763)	(пр. 0701—1761)*		
Al	100	400	476	312
Fe	210	1600	700	245
Ti	0,70	43	11	10
Mn	0,73	0,82	5,4	< 1
P	22	14,2	14,2	5
Cr	7,3	9	5,4	2,5
V	0,15	2	0,35	0,5
Cu	12	15	13	2,0
Ni	0,6	1,2	3,6	0,5
Zn	12	6	10	—
Co	0,3	0,6	0,9	0,03
Pb	0,2	0,2	1,0	0,40
B	730	130	6,0	2,0
ОМК	0,11	0,20	0,66	0,14

* Опалесцирующие воды; номера проб см. табл. 19.

тельности анализа из-за повышенной концентрации основных минеральных компонентов сухого остатка: кремния, кальция, бикарбоната, частично — магния.

В речной воде (пр. 0702) не сохраняются повышенные концентрации большинства микрокомпонентов из-за сильного разбавления водами, не связанными с рудными телами. Но по сравнению с аналогичными водами на безрудном участке ландшафтов кислого класса (табл. 23) в ней в больших количествах (в 3—6 раз) содержатся бор, медь, цинк, стронций, олово, хром, а также сульфат и магний — основной компонент магнезиальных скарнов. Указанные различия микрокомпонентного состава описываемых вод, формирующихся на одних и тех же породах, необходимо учитывать при проведении гидрогеохимических поисков.

В водах ландшафтов переходного ($\text{H}^+ - \text{Ca}^{++}$) класса гамма микрокомпонентов беднее, чем в водах ранее описанных ландшафтов. Следует учесть большие концентрации карбонатов и их максирующее влияние, вследствие чего некоторые химические элементы спектрально не обнаруживаются, хотя их абсолютные содержания могут быть не меньше, чем в бескарбонатной обстановке при близких абсолютных концентрациях органических веществ и газов в водах.

Существенной разницы в содержании микрокомпонентов в водах источников и открытых водотоков не наблюдается.

Интенсивность водной миграции. Для вод ландшафтов кислого глеевого класса не наблюдается строгой закономерности между биологическим поглощением, накоплением в органической массе почв, с одной стороны, и коэффициентом водной миграции — с другой, то такой закономерности, когда с повышением коэффициентов биологического поглощения и накопления в органической массе почв понижаются коэффициенты водной миграции.

Ранее указывалось, что растения мерзлотно-таежных ландшафтов сильно накапливают марганец, серебро, медь, барий, олово, лантан. Такие элементы, как фосфор, олово, барий, лантан, молибден, цинк, медь, марганец, свинец, бор, иттрий, никель, сильно накапливаются в верхнем горизонте почв и в то же время попадают в группу активных водных мигрантов, кроме марганца, который ограниченно мигрирует в водах.

Иттрий, никель, бериллий, свинец, ванадий, кобальт слабо захватываются растениями и попадают в группу легкоподвижных и подвижных мигрантов. Увеличение подвижности этих элементов может быть объяснено тенденцией переходить в неусвояемые растениями комплексы, легко удаляющиеся из почв.

Интенсивность выноса химических элементов водами этих ландшафтов (ряды водной миграции)¹ представлена в табл. 25. Как видно из

¹ Величины коэффициентов водной миграции рассчитаны по данным спектральных анализов (табл. 25) по формуле:
$$K_x = \frac{m_x \cdot 100}{a \cdot n_x} \cdot 100$$
 где m_x — концентрация элемента в водах, мг/л, a — вес сухого остатка, мг/л, n_x — концентрация элемента в породе, % (Перельман, 1966).

Таблица 25

Ряды миграции химических элементов для вод ландшафтов кислого глеевого класса

Характеристика	Коэффициент водной миграции, K_x							
	100	10	5	3	1	0,75	0,25	0,10
У. Очень подвижные мигранты	$S_{>85}$ F_{11} $S_{>100}$ $Cl_{>35}$ $F_{>15}$							
Н. Легкоподвижные мигранты	$Cr_{7,9}$ Mo_6 Mo_5 $Cr_{4,5}$ $Cu_{4,5}$ Sr_4 $Na_{2,3}$ Ca_2 $Sn_{1,9}$ $Y_{4,1}$ $Sr_{3,4}$ $Mg_{1,5}$ $La_{1,4}$ $Pb_{1,4}$ $Ca_{2,8}$ $Ni_{2,8}$ $Si_{1,3}$ $Cu_{2,6}$ $La_{2,1}$ $Pb_{1,3}$ $Na_{1,9}$ $Mg_{1,4}$ $B_{1,3}$ $Si_{1,3}$ $P_{1,3}$ $Zn_{1,2}$ $Sn_{1,2}$ $Ba_{1,1}$ $Be_{1,1}$ $As_{1,1}$ $Sc_{1,1}$							
III. Подвижные мигранты	$Zr_{0,9}$ $K_{0,8}$ $Fe_{0,8}$ $Co_{0,8}$ $Mn_{0,7}$ $Nb_{0,5}$ $V_{0,4}$ $Al_{0,4}$ $Ga_{0,2}$ $Ti_{0,15}$ $Sc_{0,8}$ $Ni_{0,7}$ $Ba_{0,7}$ $Al_{0,2}$ $Fe_{0,1}$ $Ti_{0,1}$ $P_{0,7}$ $K_{0,7}$ $Zn_{0,6}$ $Y_{0,6}$ $V_{0,4}$ $Mn_{0,4}$ $Co_{0,3}$							
IV. Слабоподвижные мигранты								

Автономный ландшафт -----
 Подчиненный ландшафт _____

таблицы, большинство химических элементов относится к легкоподвижным и подвижным мигрантам.

Немаловажное воздействие на интенсивность водной миграции оказывает степень насыщенности вод органическими веществами и газами и как следствие — процесс комплексообразования с водорастворимым органическим веществом. С увеличением концентрации этих мигрантов возрастает величина K_x для ряда элементов (железа, кобальта, ванадия, свинца, цинка, алюминия, хрома и др.) в несколько раз. Кроме того, увеличение миграционной способности этих элементов связано с отсутствием в иллювиальном горизонте почв окислительного барьера, на котором могут осаждаться соединения указанных элементов (Филимонова, 1969).

Для кремния, натрия, калия, лития, кальция, магния этого не наблюдается. Поэтому можно считать, что их поступление в воды связано преимущественно не с минерализацией органических остатков, а с химическим выветриванием пород.

По интенсивности водной миграции автономные и подчиненные ландшафты не столь контрастны. Но для ряда элементов наблюдается увеличение подвижности в подчиненных ландшафтах (иттрия, никеля, железа, кобальта, стронция и др.). В сухих остатках вод подчиненных ландшафтов отмечается повышенное содержание стронция, бария, цинка, иттрия, фосфора, никеля, кобальта, хрома, свинца, ванадия. Эти элементы активно вовлекаются в водную миграцию. Резко повышенные величины K_x для серы, хлора, фтора, несмотря на незначительное содержание их в породе, объясняются поступлением с атмосферными осадками.

К менее интенсивно мигрирующим элементам в автономных и подчиненных ландшафтах относятся марганец, титан, ниобий, галлий, цирконий, алюминий, ванадий.

В целом для вод ландшафтов кислого класса можно отметить интенсивную водную миграцию элементов (табл. 26). Для фтора, хлора, серы и молибдена характерны $K_x > 10$. Повышенные коэффициенты миграции хлора, фтора и серы объясняются миграцией этих элементов с атмосферными осадками. Для молибдена и серы это связано с поступлением из каких-то зон сульфидной минерализации.

Гумусовые горизонты почв не являются барьерами—концентраторами и не оказывают столь значительного влияния на водную миграцию. В илистых же частицах иллювиального горизонта накапливаются титан, железо, фосфор, галлий, ванадий, никель в виде гидроокислов и труднорастворимых органо-минеральных соединений, что закономерно для кислого окислительного процесса. Это сокращает интенсивность миграции некоторых из этих элементов, но часть из них (фосфор, никель, ванадий), а также медь и олово принадлежат к числу легко подвижных мигрантов. Для бария и стронция отмечаются повышенные концентрации в мелкоземной почве и интенсивная водная миграция.

По расположению элементов в ряду водной миграции воды открытых водотоков сходны с надмерзлотно-грунтовыми водами.

Таблица 26

Ряды миграции химических элементов для вод ландшафтов кислого класса

Характеристика	Коэффициент водной миграции, K_x							
	100	10	5	3	1	0,75	0,25	0,10
I. Очень подвижные мигранты	$S_{>270} Mo_{>135}$ $Cl_{>70} F_{>50}$							
	$S_{>110} F_{>90} Ag_{>20}$							
	$S_{>190} Mo_{>90}$ $F_{>50} Cl_{>10}$							
II. Легко-подвижные мигранты	$Ca_{8,7}$ $Ni_{4,5} As_4 Cu_{3,6}$ $Mg_{3,4}$							
	$Zn_{7,8} Cu_6 Ca_{5,8} Mg_4$ $Na_{3,2}$ Sr_2 $P_{1,3} Sn_{1,3}$							
III. Подвижные мигранты	Ca_{10} $Mg_{3,6} Na_{3,4}$ $Mo_{2,7} Sr_{2,4} Fe_{1,8} V_{1,7}$							
	$Be_{1,6} P_{1,4} Cr_{1,1} Ba_1$ $B_{2,4} Cu_{2,3} Sr_{2,2}$							
	$Ni_{1,2} P_{1,4} La_{1,2}$ $Si_{1,1} Cr_1$							
IV. Слабо-подвижные мигранты	$Zn_{<0,9} Sc_{<0,9} Cr_{0,8} Si_{0,75} Ba_{0,6} La_{0,6}$ $Fe_{0,2} K_{0,2}$							
	$Co_{<0,6} Nb_{<0,5} Y_{<0,4}$ $Mn_{0,15}$							
	$Na_{0,9} Si_{0,9} Sc_{0,9} Mn_{0,8}$ $Ti_{0,3} Zr_{<0,3}$ $Al_{0,1} V_{0,1}$							
V. Слабо-подвижные мигранты	$Y_{0,8} Co_{0,8} Al_{0,5}$ $Ti_{0,5} Pb_{0,5} Nb_{0,5} K_{0,2}$							
	$Ba_{0,9} Sc_{<0,9} V_{0,8}$ $Zr_{0,4}$							
	$Zn_{<0,8}$ $Nb_{<0,5} Ti_{0,4}$ $Mn_{0,2}$							
VI. Слабо-подвижные мигранты	$Be_{0,4} K_{0,4} Fe_{0,3} Y_{0,3} Zr_{<0,2} Co_{<0,15} Al_{0,1}$							
	$Pb_{<0,06}$							
	$V_{0,08}$ $Pb_{<0,06}$							

Источник грунтово-трещинных вод —————

Источник почвенно-грунтовых вод —————

Ручей - - - - -

В почвенно-грунтовой воде нижней части склона серебро, кобальт, иттрий, бериллий, цирконий, ниобий, свинец, цинк, железо, марганец, алюминий приобретают большую подвижность. По-видимому, одним из основных факторов увеличения подвижности этих элементов являются органические вещества. Меньшая миграция калия в этих водах связана с активным поглощением растениями.

Кремний, магний, натрий, барий, стронций мигрируют с одинаковой интенсивностью в грунтово-трещинных, речных и почвенных водах. Поэтому можно допустить, что эти элементы поступают в воды за счет водорастворимых продуктов выветривания.

В грунтово-трещинных опалесцирующих водах, где существенное значение принадлежит коллоидной миграции, по сравнению с неопалесцирующими водами, сходными по температурным и биогенно-воздушным параметрам (табл. 24, пр. 0763), особенно заметно увеличение миграционной способности титана, ванадия, железа, алюминия, молибдена, свинца, цинка, кобальта, которые из группы слабоподвижных мигрантов переходят в группу подвижных. В исследованных почвенно-грунтовых водах этого ландшафта магний мигрирует несколько интенсивнее кальция.

Трещинные воды характеризуются интенсивной миграцией щелочноземельных элементов: кальция, магния, бария, стронция; магний мигрирует менее интенсивно, чем кальций. Интенсивно мигрируют кремний, бор, молибден. К слабоподвижным мигрантам относятся металлы, для которых характерно повышение миграционной способности с увеличением концентрации органических веществ и коллоидов: титан, алюминий, железо, медь, кобальт, свинец, марганец.

По интенсивности миграции элементы речные воды наиболее близки к почвенно-грунтовым и грунтово-трещинным водам с близкими значениями БВК и ОМК.

Наибольшей миграционной способностью в водах ландшафтов переходного ($H^+ - Ca^{++}$) класса обладают кальций, магний, барий, стронций, причем стронций подвижнее бария (табл. 27). Интенсивная миграционная способность в этих водах характерна для лантана, что по предположению В.Л. Кожары и Н.П. Чибисова (1965) объясняется преобладанием карбонатной первичной формы лантана (специфический редкоземельный карбонат).

Малоподвижными становятся элементы, свободно мигрирующие в кислых окислительных средах: кремний, марганец, ванадий, титан.

Железо также принадлежит к числу слабых водных мигрантов ($K_x < 0,2$), несмотря на присутствие среди первичных минералов сидерита. Некоторые элементы (никель, медь, свинец, литий, натрий, алюминий) имеют близкие к водам ландшафтов кислого класса значения коэффициентов водной миграции (табл. 27). Учитывая различное содержание этих элементов (и железа) в гранитах и доломитах, можно считать, что в миграции их большая роль принадлежит биологическому круговороту.

Таблица 27.

Ряды миграции химических Элементов для вод ландшафтов переходного ($H^+ - Ca^{++}$) класса

Характеристика	Коэффициент водной миграции, K_x								
	100	10	5	3	1	0,75	0,25	0,10	
I. Очень подвижные мигранты									
II. Легко подвижные мигранты									
III. Подвижные мигранты									
IV. Слабо подвижные мигранты									

Источник почвенно-грунтовых вод —————

Источник трещинно-карстовых вод —————

Ручей - - - - -

КЛАССИФИКАЦИЯ УЛЬТРАПРЕСНЫХ ВОД
РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ЛАНДШАФТОВ
АЛДАНСКОГО НАГОРЬЯ

На основании изложенного фактического материала нами выделены типовые, специфические свойства, характерные для вод северотаежных мерзлотных ландшафтов кислого глеевого, кислого и переходного ($H^+ - Ca^{++}$) классов, сводящиеся к следующим.

I. Для вод ландшафтов кислого глеевого класса:

- 1) высокое содержание органических веществ (40–75% от суммы всех растворенных веществ), в том числе свободных органических кислот высоко- и низкомолекулярных (0,05–0,015 мг. экв/л);
- 2) минимальная минерализация (15–25 мг/л);
- 3) максимальный органо–минеральный коэффициент (0,5–2,5);
- 4) высокое содержание углекислоты (до 28 мг/л), в некоторых источниках пониженное содержание кислорода (до 5–6 мг/л);
- 5) низкая величина рН (4–5,5);
- 6) повышенная концентрация железа (0,1–0,8 мг/л), алюминия (0,15–0,60) и микрокомпонентов: Mn, Cr, Zr, Cu, V, Zn, Ni, Y, Co, Pb. По содержанию последних воды этих ландшафтов выглядят аномальными по сравнению с остальными, отобранными в той же литологической обстановке;
- 7) интенсивная миграция химических элементов: $K_{Fe} = 0,8-1,8$, $K_{Al} = 0,4-0,5$, $K_{Co} = 3,5$, $K_{Mn} = 0,8-1,1$, $K_V = 1,9$, $K_{Pb} = 3,1$, $K_V = 1,2$ большинство элементов попадает в группу легкоподвижных мигрантов. Обогащению растворов подвижными формами способствует комплексообразование с органическими веществами.

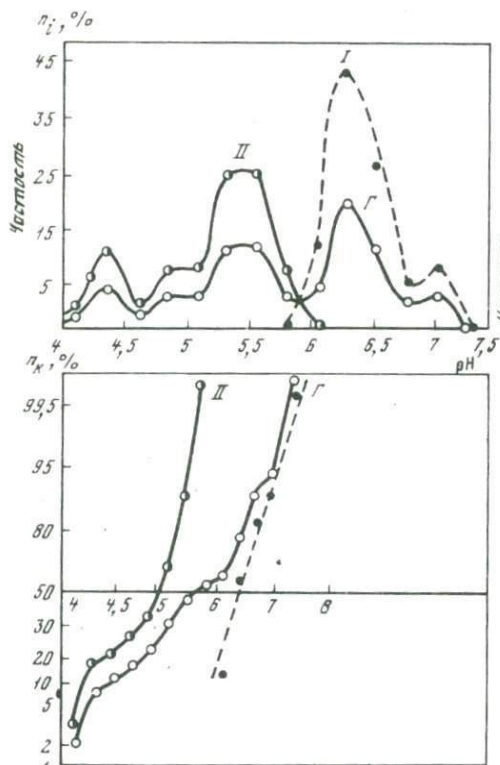
II. Для вод ландшафтов кислого класса:

- 1) содержание органических веществ (10–25% от суммы всех растворенных веществ) и свободных органических кислот (0,02–0,7 $\frac{мг-экв}{л}$) значительно ниже;
- 2) более высокая минерализация (30–80 мг/л);
- 3) значительно ниже величина органоминерального коэффициента (0,020–0,40);
- 4) меньше количество углекислоты (3–6 мг/л), содержание кислорода близко к предельному насыщению при данной температуре для вод, контактирующих с атмосферой (10–12 мг/л);

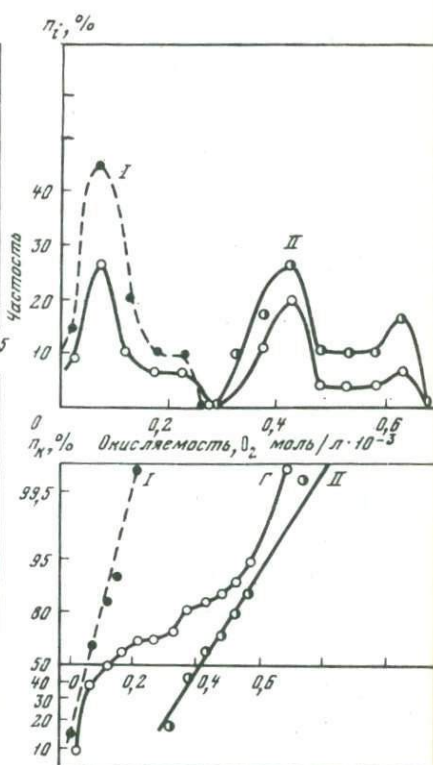
Таблица 28

Фоновые и аномальные содержания некоторых компонентов в грунтовых водах железорудного месторождения в магнезиальных скарнах, мг/л

Компоненты	Фоновые содержания	Аномальные содержания
SO_4^{2-}	0,2–2	5–80
Mg^{2+}	0,2–2	2–20
Минерализация	25–50	50–100
B	0,002–0,005	0,010–0,10
Cu	0,001–0,004	0,005–0,04
Zn	0,002–0,006	0,006–0,04



Р и с. 9. Эмпирические кривые распределения рН в ультрапресных водах Алданского нагорья



Р и с. 10. Эмпирические кривые распределения значений окисляемости в ультрапресных водах Алданского нагорья

5) величина рН, близкая к нейтральной (6,20–6,70);

6) низкие концентрации железа (0,01–0,1 мг/л) и микрокомпонентов;

7) сокращение интенсивности водной миграции ряда элементов:

$K_{Fe} = 0,2-0,3$, $K_{Al} = 0,1$, $K_{Mn} = 0,2$, $K_{Co} = 0,3$, $K_{V} = 0,3$, $K_{Zn} < 0,8$ и др. Природные растворы обедняются подвижными формами.

III. Для вод ландшафтов переходного (от кислого к кальциевому) класса:

1) отсутствие свободных органических кислот;

2) максимальная минерализация (150–200 мг/л);

3) минимальный органо-минеральный коэффициент (0,01–0,02);

4) низкие содержания углекислоты (2–3 мг/л);

5) величина рН нейтральная и слабощелочная (7–7,40);

6) более бедная гамма микрокомпонентов, значительно меньше их относительные количества;

7) более слабое влияние органических веществ на миграцию гипоморфных и рудных элементов. Сокращается интенсивность миграции $K_{Si} = 0,2$, $K_{Al} = 0,2$, $K_{Mn} \leq 0,05$, $K_{Co} \leq 0,3$, $K_{Fe} = 0,12$, $K_{V} \leq 0,5$, $K_{Ti} = 0,02$.

Сравнение гидрохимических характеристик ландшафтов кислого глеевого, кислого и переходного ($H^+ - Ca^{++}$) классов методом анализа кривых распределения концентраций ряда элементов показывает, что воды этих ландшафтов существенно отличаются как по средним значениям, так и по стандартным отклонениям в каждом из распределений. Это еще раз подчеркивает генетическую разнородность выделенных классов ландшафтов.

Так, кривые распределения генеральной совокупности (Γ) значений рН ($N = 61$) и окисляемости ($N = 45$) в ультрапресных водах Алданского нагорья бимодально (рис. 9, 10). Отчетливо выделяются два распределения: первое – нормальное с параметрами $pH = 6,40$, $\sigma = 0,2$ (кривая I) – воды ландшафтов кислого и переходного ($H^+ - Ca^{++}$) классов и второе близкое к нормальному ($pH = 5,10$, $\sigma = 0,30$) для вод ландшафтов кислого глеевого класса (кривая II).

Коэффициент корреляции рН по $C_{орг}$ равен $0,85 \pm 0,05$ с 95%-ной вероятностью.

Аналогично распределены значения концентраций Fe, Al, $C_{орг}$. Это еще раз подчеркивает генетическую разнородность выделенных классов ландшафтов и формирующихся в них вод. Значения концентраций цинка в исследуемых водах распределены логнормально с параметрами: $N = 42$, $Zn = 2,5$ мкг/л, $E = 1,5$ (рис. 11).

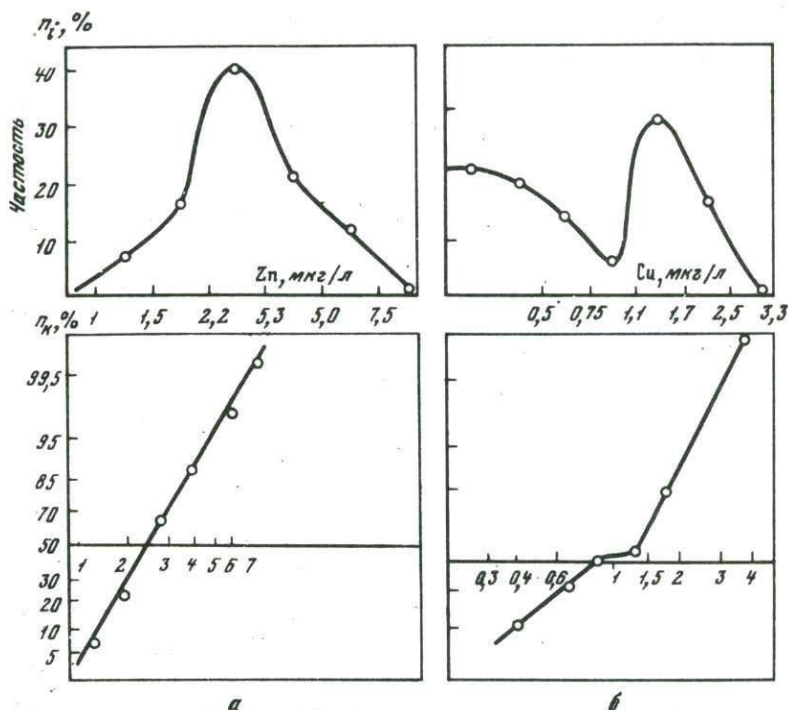


Рис. 11. Эмпирические кривые распределения содержаний цинка (а) и меди в ультрапресных водах Алданского нагорья (б)

Таблица 29

Геохимическая характеристика ультрапресных вод мерзлотно-таежных ландшафтов Алданского нагорья

Геохимические показатели	Типы и классы вод					
	Воды с низким содержанием органических веществ*	Воды со средним содержанием органических веществ*				Воды с высоким содержанием органических веществ*
	I	II	III	IV	V	VI
	Ландшафты кислого класса	Ландшафты переходного (H ⁺ – Ca ⁺⁺) класса	Ландшафты кислого класса	Ландшафты кислого класса	Ландшафты кислого и глеевого класса	Ландшафты кислого и глеевого класса
Органические вещества C _{орг.} : нелетучие высокомолекулярные соединения, C _{орг.} сухого остатка; гуминовые и фульвокислоты, C _{орг.} ; летучие низкомолекулярные соединения, C _{орг.}	0,5–1	1–2	2–4	4–6	6–8	8–25 и выше
Сумма минеральных веществ, мг/л	85–100	150–200	30–40	75–90	50–65	15–25
Органо-минеральный коэффициент	0,015–0,019	0,02	0,10–0,40	0,10–0,15	0,20–0,40	0,5–2,5
Газы, мг/л:						
CO ₂	4–6	2–3	3–5	4–6	6–7	8–25
O ₂	6	10	9–10	11	9–10	4–11
pH	6,50–6,70	7,10–7,60	6,20–6,70	6,40–6,50	6,10–6,50	4,2–5,50
Анионный состав	HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ²⁻ > Cl ⁻	HCO ₃ ⁻ ≧ SO ₄ ²⁻ > Cl ⁻	HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ²⁻ > Cl ⁻	SO ₄ ²⁻ > HCO ₃ ⁻ > Cl ⁻	HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ²⁻ > Cl ⁻	Органические анионы > HCO ₃ ⁻ > SO ₄ ²⁻ > Cl ⁻
среднее содержание, мг/л	40; 9	150; 0,7	15; 10	30; 17	25; 12	3; 0,3
Катионный состав	Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ ≧ Na ⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺	Mg ²⁺ > Ca ²⁺ > Na ⁺	Mg ²⁺ , Ca ²⁺ > Na ⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺
среднее содержание, мг/л	8; 5; 2	30; 16; 0,3	1–3; 1–2	10; 2,5; 0,8	7; 4; 0,7	0,5–1; 5; 0,5–1
Кремний, H ₂ SiO ₃ , мг/л	16–26	3–5	12–16	12–14	12–15	8–10
Концентрация микрокомпонентов (Fe, Al, Mn, P, Zr, Cr, Cu, Ti, Zn, Y, Ni, Co, Pb, Be, Ce)	Увеличивается от I к VI классу					
Коэффициент водной миграции Fe, Al, Mn, Ti, P, Zr, Ni, Zn, Cu, Y, V, Pb, Be	То же					

* C_{орг.} нелетучих высокомолекулярных соединений.

Распределение содержаний меди в водах представлено неоднородно кривой, имеющей два характерных участка — j (йот-образный в интервале 0—0,75 мкг/л ($N=8$)) и логнормальный в интервале 0,75—3,8 мкг/л с параметрами $N=31$, $Cu=1,5$ мкг/л, $E=1,5$ (рис. 11).

Нами изучалась также водная миграция элементов на железорудном месторождении с сульфидной и боратовой минерализацией. Фоновые и аномальные значения концентраций некоторых элементов для описываемого месторождения приведены в табл. 28.

Как видно из табл. 28, отличительной особенностью гидрогеохимических поисков в северо-таежных мерзлотных ландшафтах служит образование контрастных аномалий при очень низких фоновых концентрациях элементов.

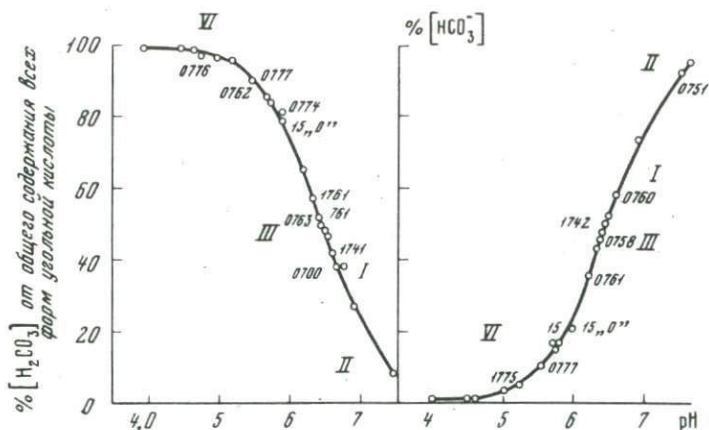
В условиях холодного, влажного климата и малоактивных пород, в богатых живым веществом ландшафтах, к которым принадлежат и северо-таежные, химический состав вод на безрудных участках во многом определяется биологическим круговоротом, а не процессами прямого разложения горных пород. Для этих вод важным компонентом являются органические вещества, таксономическое значение которых в данном случае больше ионного состава. Обычно принятая для вод классификация О.А. Алекина по преобладающим анионам и катионам с делением по соотношению между ионами не отражает геохимическую суть ультрапресных вод, так как не эти ионы определяют основные их свойства. Поэтому при классификации ультрапресных вод мы использовали содержание органических веществ, величину минерализации и соотношение между ними (органо-минеральный коэффициент), так как наиболее значительные изменения свойств ультрапресных вод устанавливаются именно по этим характеристикам.

В районе исследования нами выделено три типа и шесть классов вод: воды с низким содержанием органических веществ ($C_{орг.}$ до 1 мг/л, I класс), со средним ($C_{орг.}$ до 8 мг/л) — гидрокарбонатные (II класс), кремнеземные — гидрокарбонатные (III класс), кремнеземные сульфатные (IV класс), кремнеземные железистые (V класс) и с высоким содержанием органических веществ ($C_{орг.}$ > 8 мг/л, VI класс). Их сравнительная геохимическая характеристика представлена в табл. 29.

Правильность этого принципа классификации ультрапресных вод подтверждается эмпирически установленными зависимостями между некоторыми показателями ($pH - C_{орг.}$, $pH - CO_2$, рис. 7 и др.). Каждый из классов характеризуется близостью и единством закономерностей изменения содержания HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_2 и величины pH , что обусловливается ландшафтно-геологическими условиями и генетическими особенностями вод.

В полном соответствии с изложенным находится соотношение форм угольной кислоты (рис. 13). В водах ландшафтов кислого глеевого класса основная форма — H_2CO_3 [$CO_2 + H_2O$], кислого — $H_2CO_3 : HCO_3^- = 1:1$, а в трещинных водах наблюдается некоторое преобладание HCO_3^- над H_2CO_3 , воды ландшафтов переходного класса содержат свыше 90% HCO_3^- .

Вместе с тем все ультраосновные воды исследуемого района имеют ряд общих свойств, выявление которых не менее важно для гидрохимической



Р и с. 12. Соотношение форм угольной кислоты в различных классах вод (I–VI)

характеристики региона. Все воды низкотемпературные. Даже в самое жаркое время температура не поднимается выше 6–7, а для большинства источников составляет 2–4° С. Воды содержат довольно много растворенного кислорода. Величина Eh положительна, составляет + 400–500 мв и создается, в основном, растворенным кислородом. Органические вещества как восстановитель проявляют себя слабо. Скорость окислительно-восстановительных процессов (в том числе и окисления органических веществ) не лимитируется количеством кислорода, а определяется низкой температурой. В связи с этим выявляется одна из особенностей описываемых вод – заторможенность ряда физико-химических процессов, связанная с недостатком тепла и малыми концентрациями действующих масс в растворе. Как следствие заторможенности – термодинамическая неравновесность, которая проявляется прежде всего в том, что воды содержат большое количество растворенного кислорода и органических веществ, слабо окисленных, слабо минерализованных. Большие количества органических веществ вносят в формы миграции элементов своеобразие в виде органо-минеральных комплексных соединений. Это приводит, в частности, к наличию довольно больших содержаний Fe^{2+} в насыщенной кислородом среде. Подобно железу в низших степенях валентности в связи с органическим веществом может мигрировать марганец.

Третьей весьма важной особенностью ультрапресных вод является их резкая ненасыщенность и агрессивность и, как следствие – большая растворяющая способность. Агрессивность усиливается большим содержанием газов и органических кислот, но из-за недостатка тепла реализуется слабо.

В катионном составе вод значительное место принадлежит кальцию и магнию, содержание щелочных катионов очень мало. Среди неорганических анионов преобладающим является гидрокарбонат-ион, а на рудоносных участках – сульфат.

В общей сумме растворенных минеральных веществ вод ландшафтов, сформированных на кислых породах, кремний составляет почти 50%.

ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА УЛЬТРАПРЕСНЫХ ВОД И ИХ РОЛЬ В МИГРАЦИИ РУДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Одной из главных задач нашей работы являлось использование результатов исследования качественного и количественного состава органической составляющей в целях выяснения ее роли в геохимии ультрапресных вод.

Окисляемость и органический углерод нелетучих соединений. Изучение водного гумуса в ландшафтах Алданского нагорья начато нами в 1962 г. с определения перманганатной окисляемости в кислой среде. Этот косвенный метод дал возможность впервые ориентировочно оценить количество органических веществ в ультрапресных водах различных классов геохимических ландшафтов.

В табл. 30–32 приведены результаты определения перманганатной окисляемости для различных классов ландшафтов.

Применение метода определения органического углерода обеспечивает более точные и надежные данные по содержанию органических веществ природных вод.

Количественной оценкой способности перманганата калия к окислению органических веществ служит величина степени окисления, представляющая отношение молярных количеств кислорода окисляемости к органическому углероду. При полном окислении органики до CO_2 затрачивается по одному моллю кислорода и углерода, при этом величина степени окисления равна 1 (или 100%). Степень окисления перманганатом калия органических веществ ультрапресных вод ландшафтов кислого глеевого класса колеблется в пределах от 28 до 57%, составляя в среднем около 40%. Понятие о степени окисления в значительной мере условно. Однако при всей условности этого понятия, величина степени окисления дает ориентировочное представление о качественном составе органических веществ. По экспериментальным данным (Скопинцев, 1950), наименьшая степень окисления характерна для белков, жиров и жирных кислот, наибольшая — для гумусовых соединений.

Более полная степень окисления органических веществ достигается бихроматом калия. По литературным данным (Крылова, Скопинцев, 1969, Николаева, Скопинцев, 1961) средняя степень окисления органических веществ почвенного гумуса бихроматом калия составляет в среднем 93–94%. Это соответствует степени окисления углеводов (для глюкозы — 93%), на основании чего указанными авторами делается вывод о близости органических соединений гумусовой природы к углеводам.

Таблица 30

Бихроматная окисляемость и степень окисления бихроматом калия в ультрапресных водах

Проба	Окисляемость бихроматная, O ₂		C _{орг.}		Степень окисления, %
	мг/л	моль/л 10 ⁻³	мг/л	моль/л 10 ⁻³	
1775	43,5	1,36	17,45	1,45	93,5
1774	38,2	1,19	15,30	1,28	93,6
1754	64,6	2,00	25,40	2,12	94,5
1761	15,90	0,50	6,10	0,51	97,0
1758	6,4	0,20	2,58	0,22	93,0

Выборочное экспериментальное определение бихроматной окисляемости показало, что степень окисления органических веществ ультрапресных вод бихроматом калия составляет 93,5% (табл. 30).

На основании сказанного выше можно сделать вывод о том, что несмотря на некоторую условность данных, получаемых методом определения перманганатной и бихроматной окисляемости, эти величины для ультрапресных вод мерзлотно-таежных ландшафтов в какой-то мере могут дать представление о качественном и количественном составе органических веществ.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННО РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ C_{орг}

Количественное выделение в естественном (первоначальном) состоянии и определение различных классов органических соединений из природных вод является сложной, а часто и невозможной задачей из-за низких концентраций органических веществ и изменения их в процессе выделения. Но количественное представление о содержании отдельных групп органических веществ может быть получено с помощью методов определения органического углерода при соответствующих аналитических подготовках проб (гл. III).

Углерод летучих оснований (аминов). В изучаемых нами водах были определены летучие амины, источником которых служат органические азотсодержащие вещества: белки, аминокислоты. При разложении этих веществ в почвах и водах (особенно в процессе гниения) образуются алифатические (возможно и ароматические) амины¹.

Количество углерода, связанного с летучими основаниями, невелико и колеблется в пределах 0,34–1,60 мг/л C_{орг} (табл. 31). Максимальное

¹ По данным А.Д. Семенова (1967), в крупных реках СССР найдены лишь алифатические амины первичные, вторичные и третичные в количестве 15–50 мкг/л N_{орг}.

Таблица 31

Количественная оценка качественно различных групп органических веществ в водах

Проба	Дата опробования	Классы ландшафтов и водопункты	С _{орг.} летучих, низкомолекулярных						С _{орг.} общего количества органических веществ	
			нейтральных летучих (углеводородов, масел, эфиров и др.)		низкомолекулярных кислот		летучих оснований (аминов)			
			мг/л	%	мг/л	%	мг/л	%		
2	3	4	5	6	7	8	9	10		
<i>Ландшафты кислого</i>										
1076	8.IX-66	Почвенно-грунтовая вода в каменной чаше	19,31	80	2,98	13	0,79	3		
0975	29.VI-65	Источник	3,73	22	0,85	5	0,47	2		
1075	8.IX-66	почвенно-грунтовых	14,20	60	4,95	21	1,60	7		
1775	3.VII-67	вод на заболоченном склоне	12,30	40	0,85	3	0,97	3		
0974	29.VI-65		5,51	35	0,30	2	0,34	2		
1074	8.XI-66	Устье	22,88	74	3,76	12	1,02	4		
1774	3.VII-67	ручья	15,78	51	0,50	1,5	0,70	2		
15	1.VII-67	Почвенно-грунтовые	10,08	46	1,40	6,4	0,42	1,6		
10	1.VII-67	воды в мховом углублении	8,72	49	1,20	6,7	0,58	3,3		
0954	28.VI-65		5,87	23,8	0,95	3,8	0,43	1,4		
1054	8.IX-66	Почвенно-грунтовая	25,30	65	7,04	17,7	1,20	3,6		
1754	29.VI-67	вода	14,13	34	1,90	4,4	0,85	2,1		
<i>Ландшафты</i>										
1741	13.VII-67	Источники	3,66	62	0,65	9,3	0,30	4,0		
1742	13.VII-67	грунтово-трещинных вод	3,04	49,5	0,33	5,4	0,38	6,4		
1058	8.IX-66	Источники	14,86	84	1,00	5,6	0,34	2,0		
1758	29.VI-67	грунтово-трещинных вод	5,53	65	0,31	3,6	0,37	4,4		
0953	28.VI-65	Б. Леглиер,	5,85	69,5	-	-	0,30	3,7		
1053	8.IX-66	верхнее течение	20,09	84,5	1,86	7,9	0,81	3,4		
H-3	5.VII-67		8,44	69	0,52	4,2	0,46	3,8		

мерзлото-таежных ландшафтов (мг/л С_{орг.})

соединений		С _{орг.} нелетучих соединений								С _{орг.} общего количества органических веществ
общего количества летучих низкомолекулярных соединений		фульвокислот		гуминовых кислот		других классов нелетучих соединений		общего количества нелетучих соединений		
мг/л	%	мг/л	%	мг/л	%	мг/л	%	мг/л	%	
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
<i>глеевого класса</i>										
23,08	96	-	-	-	-	-	-	0,93	4	24,01
5,05	29	-	-	-	-	-	-	12,28	71	17,33
20,75	88	-	-	-	-	-	-	2,85	12	23,60
14,12	46	9,50	31	2,15	7	4,38	16	16,48	54	30,60
6,15	39	-	-	-	-	-	-	9,50	61	15,65
27,66	90	-	-	-	-	-	-	2,92	10	30,58
16,98	54	6,40	21	0,98	3	6,72	22	14,10	45	31,08
11,90	54	-	-	-	-	-	-	9,98	46	21,88
10,50	59	-	-	-	-	-	-	7,32	41	17,82
7,25	29	-	-	-	-	-	-	17,45	71	24,70
34,5	86,3	-	-	-	-	-	-	5,36	13,7	38,90
16,9	40,5	11,60	28	1,64	4	11,31	27	24,55	59,5	41,43
<i>кислого класса</i>										
4,64	65,3	1,08	15,3	0,03	0,4	1,34	19	2,45	34,7	7,06
3,75	61,3	0,37	6,2	0,09	1,5	1,91	31	2,37	38,7	6,12
16,20	91,6	-	-	-	-	-	-	1,50	8,4	17,70
6,20	73	0,62	7,4	0,06	0,7	1,61	18,9	2,29	27,0	8,50
6,15	73,2	-	-	-	-	-	-	2,26	26,8	8,41
22,3	95,8	-	-	-	-	-	-	0,96	4,2	23,72
9,40	77	-	-	-	-	-	-	2,81	23,0	12,23

Таблица 31 (окончание)

2	3	4	5	6	7	8	9	10
0960	27/VI-65	Постоянно действующий источник трещинных вод	—	—	—	—	—	—
1760	30/VI-67		4,60	80	0,35	6	0,32	6,0
0961	27/VI-65	Грунтово-трещинная (частично-почвенная грунтовая) вода (опалесцирующая)	—	—	—	—	—	—
1761	30/VI-67		10,44	57	0,90	5	0,66	4
1755	5/VII-67	Источник почвенно-грунтовых вод	7,48	63	0,56	5	0,50	4
15"O"	1.VII-67		9,19	52	0,85	5	0,61	4

содержание аминов приходится на осенний период (пр. 1074, 1075, 1053, 1054), когда они накапливаются в результате процессов разложения и гниения органических азотсодержащих веществ летом, в период наивысшей геохимической активности. Эти процессы наиболее интенсивно протекают в придонных слоях источников, в илах, где следует ожидать более высокие содержания аминов. Минимальное их количество определено весной 0,34–0,47 мг/л $C_{орг.}$, когда процессы биохимического разложения угнетены, а воды источников обеднены органическим веществом и сильно разбавлены паводковыми водами.

Содержание аминов возрастает почти в два раза от автономных к подчиненным ландшафтам (пр. 1076 и 1075), что может свидетельствовать об образовании этих соединений в почвенных слоях и вымывании их оттуда просачивающимися водами.

Трещинные воды содержат эти вещества в количествах, близких к пределу чувствительности анализа.

Углерод летучих низкомолекулярных кислот определяется по разности величин, установленных методом "сухого" сжигания с добавлением буры и без нее (гл. III, стр. 61). Результаты определения $C_{орг.}$ этих соединений представлены в таблице 31). Обращает внимание повышенное содержание летучих кислот в пробах, отобранных осенью (пр. 1074, 1075, 1058, 1053, 1054).

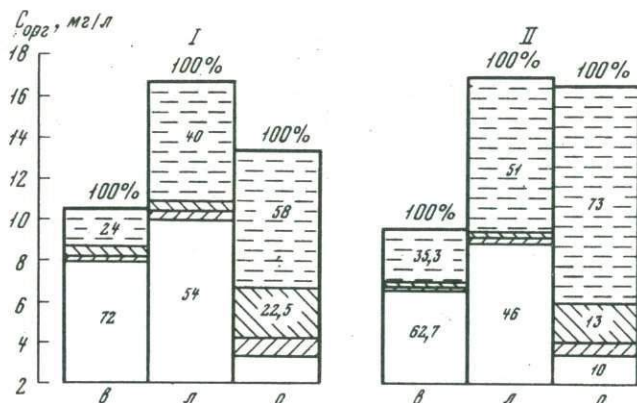
Углерод нейтральных соединений, летучих с парами воды. Эти соединения поступают в воды как в процессе распада и преобразования более сложных веществ, так и в период жизнедеятельности растений (например, выделение эфирных масел, терпенов, углеводов корней и корневищ растений). Присутствие этих соединений в водах вполне закономерно, поскольку они, будучи низкомолекулярными, хорошо растворяются в

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
4,85	87,0	—	—	—	—	—	—	0,74	13,0	5,59
5,27	92,0	не обн.	—	н/обн.	—	0,46	18,0	0,46	8,0	5,73
6,85	48,5	—	—	—	—	—	—	7,30	51,5	14,15
12,00	66,0	3,13	18,0	0,21	1,0	2,90	15,0	6,24	34	18,24
8,54	72	2,27	20	0,37	3,0	0,60	5	3,24	28	11,78
10,65	61	2,88	17	0,32	2,0	3,74	20	6,94	39	17,59

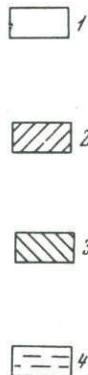
воде и представляют собой активно мигрирующую долю органических веществ.

Общее содержание углерода летучих соединений в водах ландшафтов кислого глеевого класса составляет от 4,2 до 23,9 мг/л (в пересчете на $C_{орг.}$) (табл. 31). Наиболее низкие их количества приходятся на весенний период (рис. 13). В это время процесс жизнедеятельности растений наименее интенсифицирован (только что сошел снег, многие из растений еще не появились), общее количество растворенных органических веществ в водах небольшое, температуры вод низкие, т.е. источники поступления летучих низкомолекулярных органических веществ минимальны. Летом их количество возрастает в 3–4 раза (пр. 1775, 1774), благодаря активности всех процессов, а осенью достигают максимального значения (пр. 1076–1074). Увеличение содержания летучих органических веществ в ручье Рыжем объясняется, возможно, гораздо лучшей развитостью растительности (подводной и в пойме), чем в небольшом источнике почвенно-грунтовых вод в нижней части склона. В верхней части склона общее содержание этих соединений также несколько выше (пр. 1076) (табл. 31).

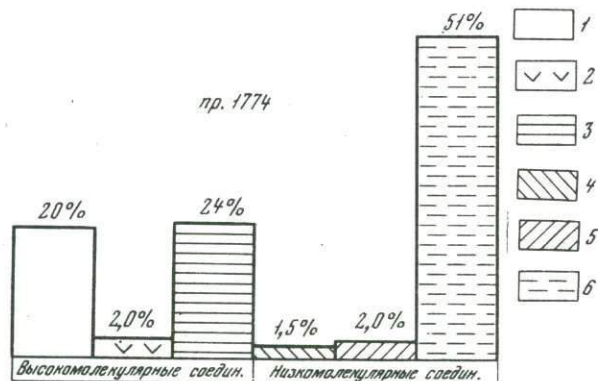
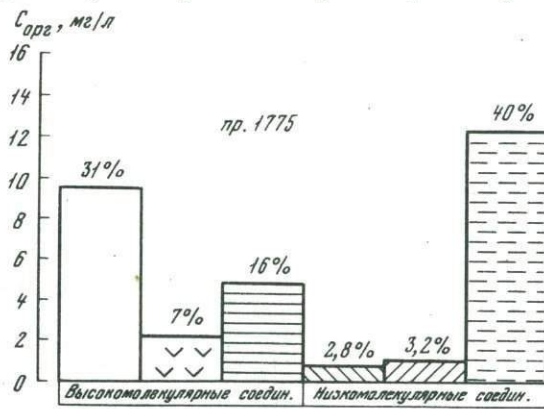
Из общего количества летучих соединений на долю аминов приходится лишь небольшая часть 5–12%. Соотношение между летучими низкомолекулярными соединениями в водах и нелетучими зависит от времени опробования (рис. 14): весной при небольшом общем содержании органического вещества в водах преобладают нелетучие соединения; летом в период наиболее активного поступления и разложения органического вещества отношение между этими двумя группами соединений близко к единице (пр. 1775, 1774, 15, 10 табл. 31); осенью накапливаются низкомолекулярные соединения как продукты трансформации и преобразования нелетучей органики и жизнедеятельных процессов в растениях и организмах. В этот период низкомолекулярные соединения во много раз



Р и с. 13. Изменение соотношения $C_{орг}$, связанного с различными классами органических веществ во времени в ультрапресных водах ландшафтов кислого глеевого класса (проценты от общего содержания $C_{орг}$.)



в – весна; л – лето; о – осень
 I – почвенно-грунтовая вода в нижней части заболоченного склона; II – открытый водоток
 1 – $C_{орг}$: гумусовых веществ, белковых соединений, углеводов и других высокомолекулярных соединений; 2 – $C_{орг}$: аминов; 3 – $C_{орг}$: низкомолекулярных кислот; 4 – $C_{орг}$: углеводородов, эфиров, масел и других нейтральных летучих соединений



Р и с. 14. Содержание $C_{орг}$. (мг/л, %), связанного с различными классами органических веществ в ультрапресных водах ландшафтов кислого глеевого класса

I – фульвокислоты (пр. 175и); 2 – гуминовые кислоты

(пр. 1755); 3 – белковые соединения, углеводы и другие высокомолекулярные соединения (пр. 1775); 4 – низкомолекулярные кислоты (пр. 1775); 5 – амины (пр. 15 "О"); 6 – углеводороды, эфиры, масла и другие летучие соединения (пр. 1774)

преобладают над высокомолекулярными (пр. 1076—1074, табл. 31). Из-за низкого содержания высокомолекулярных органических соединений воды становятся слабо окрашенными или почти бесцветными.

В грунтово-трещинных и речных водах ландшафтов кислого класса $S_{орг}$ летучих с парами воды соединений составляет от 3 до 20 мг/л, примерно такое же содержание и с почвенно-грунтовыми водах (табл. 31). В общем балансе органических веществ грунтово-трещинных вод преобладают низкомолекулярные органические соединения, что связано с их лучшей растворимостью и с различным генезисом органических веществ этих вод.

Наиболее низкие концентрации этих соединений отмечаются весной, вскоре после таяния снега, когда процессы жизнедеятельности растений еще угнетены, воды разбавлены и общее количество органических веществ в них ниже (пр. 0953, 1954). Летом количество этих соединений возрастает (пр. Н-3, 1954), а осенью — становится еще больше (пр. 1053, 1058, 1054), вследствие интенсивно протекающих летом биохимических процессов жизнедеятельности растений, ферментативного разложения углеводов, гниения, окисления, распада природных высокомолекулярных органических веществ.

Из общего количества органического углерода грунтово-почвенных вод на долю $S_{орг}$ связанному с летучими, приходится от 50 до 72%, а в трещинных водах — до 90%. Это, по-видимому, следствие различного происхождения органических веществ, связанных с различными источниками его поступления: в грунтово-почвенных водах органика в основном почвенного происхождения, в трещинных — глубинного.

Для грунтово-почвенных вод отмечается тенденция повышения содержания летучих органических веществ от весны к лету (пр. 0961, 1761, табл. 31). В трещинных водах, химический состав которых в меньшей степени зависит от ландшафтно-геохимических условий, концентрация этих соединений мало менялась в период исследования (пр. 0960, 1760, там же).

Из изложенного следует, что низкомолекулярные органические соединения занимают в ультрапресных водах достаточно большое место в общем балансе водорастворимых органических веществ, а углерод, определенный из сухого остатка вод, не дает полной количественной характеристики содержания органического вещества. Соотношение между различными классами водорастворимых органических веществ, выраженное в % от общего содержания $S_{орг}$, представлено диаграммой (рис. 14).

Органический азот. Содержание азота в ультрапресных водах ландшафтов кислого глеевого класса невелико — 0,25—0,96 мг/л $N_{орг}^1$; повышает

¹ Этим методом определяется аминный азот нелетучих соединений гумусовых и белковых веществ, т.е. азот, связанный в прочные циклические соединения. Азот летучих аминов при этом не определяется, так как теряется в процессе перегонки с водяным паром вместе с неорганическим азотом (аммиаком). Не определяется также азот некоторых соединений ряда пиррола, пиридина, нитрозо- и нитрозоазотистых соединений.

Таблица 32

Соотношение органического углерода и органического азота в ультрапресных водах мерзлотно-таежных ландшафтов, мг/л

Проба	Место отбора проб	C _{орг.}	N _{орг.}	C : N
<i>Ландшафты кислого глеевого класса</i>				
0777	Водораздел	4,90	0,46	10,7
0776	Верхняя часть склона	9,80	0,25	39,0
0775	Нижняя часть склона	17,70	0,96	18,5
0875		12,10	0,29	42,0
0774	Устье ручья Рыжего	16,00	0,71	23,0
0874		9,20	0,28	33,0
<i>Ландшафты кислого класса</i>				
0757	Источник грунтово-трещинных	3,12	0,44	7,1
0758	вод	1,83	0,80	2,3
0858		1,96	0,22	8,9
0753	Вода из р. Леглиер	2,12	0,35	6,1
0853		2,00	0,27	7,4
0763	Источник почвенно-грунтовых	4,55	0,46	10
0863	(частично грунтово-трещинных)	3,90	0,16	24
0761	вод	4,45	0,36	12
0861	Источник грунтово-трещинных (частично грунтово-почвен- ных) вод	3,54	0,21	17
0700	Источник трещинных вод	0,76	0,41	18
0860		0,60	0,23	26
<i>Ландшафты переходного [H⁺-Ca⁺⁺] класса</i>				
0751	Источник вод трещинно-карстовых	2,12	0,250	8,4
0750	Верховья небольшой реки	2,04	0,33	6,2

ся от водораздела к нижней части склона (табл. 32). Воды характеризуются высоким соотношением C : N, равным 10–42, максимальные значения которого соответствуют пробам, отобраным осенью (0874, 0875).

По сравнению с водами других ландшафтов это отношение значительно выше (в 5–7 раз), что свидетельствует о незначительном содержании в водах веществ планктонного происхождения и о гумусовом характере растворенного органического вещества. Близкие к приведенным имеют величину отношения C : N гуминовые кислоты – 12–15 и фульвокислоты – 24 и наземные растения 20–40 (Скопинцев, 1950).

Содержание органического азота в ультрапресных водах ландшафтов кислого класса для летнего периода составляет 0,30–0,80 мг/л (табл. 32). Грунтово-трещинные воды характеризуются гораздо более низким соотношением C : N, чем почвенно-болотные воды ландшафтов кислого глеевого класса, равном 2–9 и увеличивающимся в осеннее время (пр. 0858, 0853,

0863, 0861, 0860). Это говорит о меньшем содержании в этих водах органических веществ растительного происхождения.

Содержание органического азота и соотношение его с углеродом для вод ландшафтов переходного ($H^+ - Ca^{++}$) класса близко к водам ландшафтов кислого класса (табл. 32), т.е. органические вещества характеризуются таким же соотношением гумусовых и белковых соединений.

Органические кислоты. Содержание растворимых органических кислот определялось двумя методами: прямым и методом перегонки с водяным паром. Последним методом определялись летучие органические кислоты, при этом использовалась их способность перегоняться с водяным паром и тем самым выделяться из смеси органических веществ. Однако при отгонке с водяным паром могут быть обнаружены кислоты, как первоначально присутствующие в исследуемой воде, так и те, которые образовались в результате расщепления более сложных органических веществ, в том числе и более сложных кислот. Прямой метод исключает возможность гидролитического расщепления и дает основание считать, что определяемые этим методом органические кислоты первоначально присутствовали в природной воде.

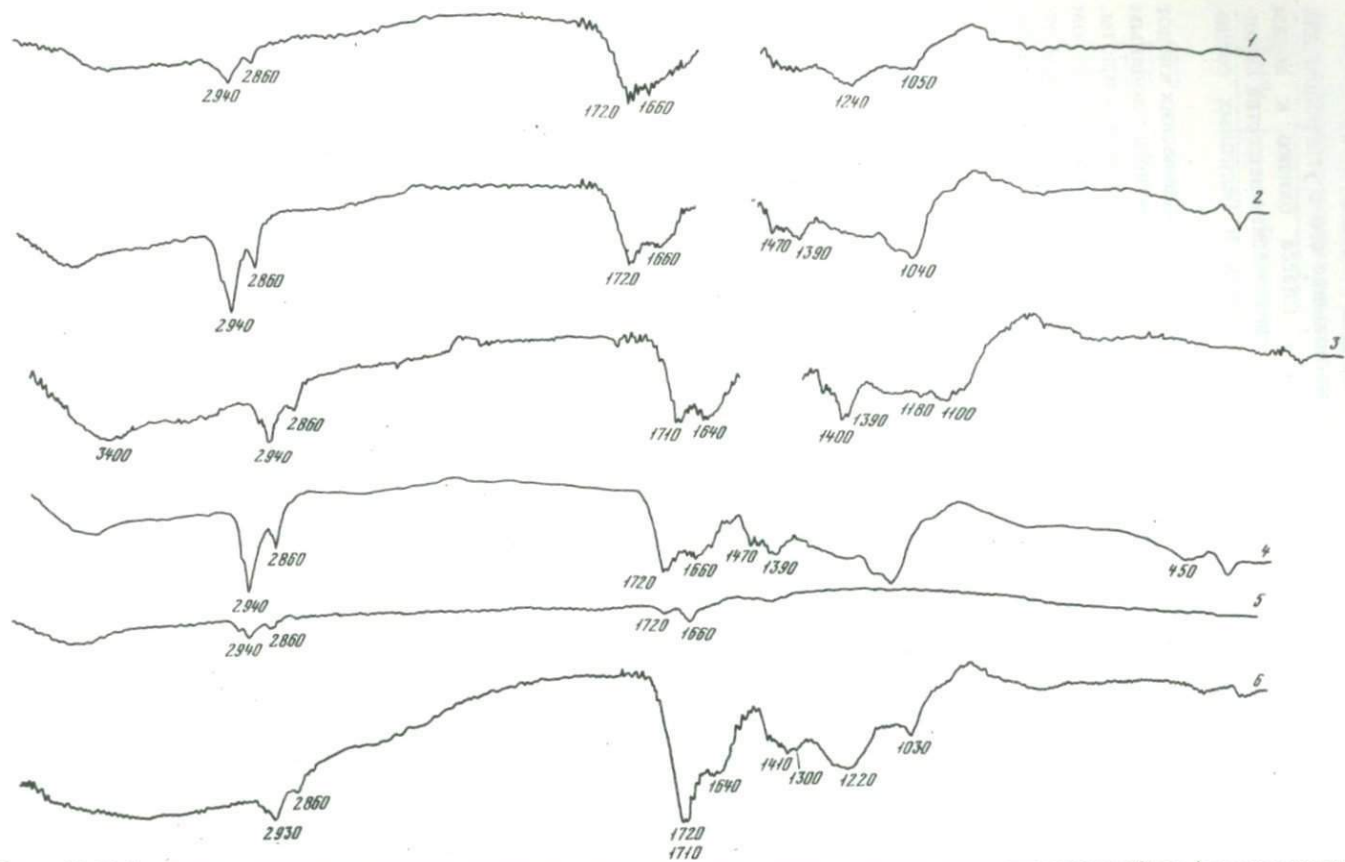
В целях выявления отношения органических веществ к кислому гидролизу, в результате которого образуются летучие с водяным паром кислоты, был введен коэффициент кислотного гидролиза ($K_{кг}$), который представляет собой отношение количества органических кислот, установленных методом перегонки с водяным паром к количеству кислот, определенному прямым методом.

Если $K_{кг} < 1$, то следует считать, что органические кислоты расщепляются в условиях кислого гидролиза при перегонке их с водяным паром до CO_2 или же представляют собой кислоты, нелетучие с водяным паром.

Если $K_{кг} > 1$, то органическое вещество само расщепляется до кислот, летучих с водяным паром. В этом случае кислоты могут быть обнаружены в дистилляте, даже если прямым методом было установлено их отсутствие (Быкова, Никитина, 1964). Содержание растворенных в свободном состоянии кислот в водах описываемых ландшафтов составляет от 0,03 до 0,20 мг-экв/л. Общее содержание кислот повышается в два-три раза от автономных к подчиненным ландшафтам, соответственно возрастанию общего количества растворенных органических веществ. Кислоты вод автономного ландшафта легко расщепляются в условиях кислого гидролиза: $K_{кг} > 1$).

В водах подчиненных ландшафтов часть ($2/5-1/2$) растворенных кислот представлены нелетучими с водяными парами соединениями ($K_{кг} < 1$).

В ультрапресных водах ландшафтов кислого класса органические кислоты определились в основном прямым методом. Максимальное количество кислот (0,10 мг-экв/л) содержат почвенно-грунтовые воды, минимальное ($\leq 0,01$ мг-экв/л) — грунтово-трещинные, речные воды за-



Р и с. 15. Инфракрасные спектры гуминовых кислот вод грунтового стока северо-таежных мерзлотных ландшафтов Алданского нагорья
 1-3 – почвенно-грунтовые воды; 4, 5 – грунтово-трещинные воды; 6 – ручей

нимают промежуточное положение, но по содержанию органических кислот стоят ближе к грунтово-трещинным:

В водах ландшафтов переходного ($H^+ - Ca^{++}$) класса органические кислоты либо отсутствуют совсем, либо их содержание близко к пределу чувствительности анализа (0,01 мг-экв/л), т.е. водороды карбоксильных групп замещены металлами, скорее всего кальцием и магнием и миграция протекает в виде солей. Это одно из существенных отличий органического вещества вод этих ландшафтов.

Гуминовые и фульвокислоты. Гуминовые и фульвокислоты представляют собой сложные смеси высокомолекулярных, биохимически устойчивых соединений, обуславливающих окраску природных вод. В химическом отношении они не являются строго индивидуальными веществами, но между собой имеют сходные свойства.

Разделение гумусовых веществ на гуминовые и фульвокислоты несколько условно, так как они связаны переходными формами, имеют общий тип строения, но отличаются степенью конденсации и характером периферических группировок (Кононова, 1963, Александрова, 1953, 1962).

Фульвокислоты в 5–6 раз преобладают над гуминовыми (см. табл. 31). Это объясняется большей растворимостью и соответственно подвижностью фульвокислот, чем гуминовых в кислых и нейтральных средах. Кроме того, ранее указывалось (гл. III), что органическое вещество иллювиально-гумусовых горизонтов почв имеет существенно фульватный состав.

Грунтово-трещинные воды ландшафтов кислого класса содержат меньшие количества гуминовых и фульвокислот — 0,5–1 мг/л (в пересчете на $S_{орг}$), чем почвенные грунтовые воды. Фульвокислоты в 6–10 раз преобладают над гуминовыми и составляют 55–67% от общего количества кислот, растворенных в ультрапресных водах этого ландшафта (см. табл. 31).

Выделить гуминовые и фульвокислоты даже при концентрировании из 7 литров трещинных вод не удалось ввиду слишком малого их содержания.

Инфракрасные спектры¹ гуминовых кислот. Общий характер спектров поглощения гуминовых кислот исследуемых вод очень близок (рис. 15). Спектры их состоят из довольно широких полос, что свидетельствует о сложности смеси сходных соединений и наложении близко расположенных полос поглощения различных групп. На инфракрасных спектрах выделились пики при длинах волн, соответствующих определенным функциональным группам органических веществ. Так, область частот 3400 см^{-1} связана с наличием гидроксильных групп OH (фенольные, спиртовые), ассоциированных за счет как межмолекулярных, так и внутримолекулярных водородных связей. При $2940\text{--}2860\text{ см}^{-1}$ наблю-

¹ Спектры снимались на инфракрасных спектрофотометрах UNICAM и UR в области $650\text{--}5000\text{ см}^{-1}$.

даются отчетливые полосы, связанные с CH_3^- , $\text{CH}_2<$, $\text{CH}\leq$ -группами в алифатических цепях и ароматических циклах.

Пик при 1710 см^{-1} свидетельствует о наличии карбоксильных групп. Пик при 1640 см^{-1} связан с асимметричными колебаниями карбоксильной группы ($\text{O}-\text{C}-\text{O}$) и карбонильной группы, сопряженной в хелатах, а также с наличием ароматических углеродных связей $-\text{C}=\text{C}-$ (Семенов и др., 1964, 1966). При $1400-1390 \text{ см}^{-1}$ проявляются деформационные колебания $\text{C}-\text{H}$ -в CH_3 -группах и и асимметричные валентные колебания COO -группы. Максимум при 1180 см^{-1} вызван колебаниями связи углерод-аллоксильный кислород в сложных эфирах, которые являются продуктами гидролиза гуминовых кислот (Драгунов 1962). Пик при 1100 см^{-1} свидетельствует о присутствии в молекулах гуминовых кислот простых эфирных группировок (Кононова, 1951, Драгунов, 1962, Беллами, 1963). В области спектра $800-600 \text{ см}^{-1}$ в исследуемых гуминовых кислотах заметных полос поглощения не наблюдалось.

Люминесцирующая доля органических веществ. Капиллярно-люминесцентный анализ был проведен для оценки качественного состава люминесцирующей доли воднорастворенных органических веществ. Этот метод позволяет установить содержание отдельных люминесцирующих групп органических веществ, к которым относятся масла, углеводороды, нейтральные и кислые смолы, высокомолекулярные кислоты, гумусовые вещества.

Следует отметить, что люминесцирующая доля органического вещества составляет лишь незначительную часть общего содержания органических веществ в исследуемых водах. Данные капиллярно-люминесцентного анализа приведены в табл. 33.

Установлено, что во всех водах около 50% люминесцирующей доли органического вещества составляют гумусовые вещества, имеющие в ультрафиолетовом свете светло-коричневые и коричневые цвета люминесценции. Почти во всех водах обнаружены нейтральные смолы и масла, относительное содержание которых 15–25% (цвет люминесценции розовый, белый, голубой). В большинстве проб найдены высокомолекулярные люминесцирующие органические кислоты от 10 до 30%, имеющие в ультрафиолетовом свете преимущественно голубые тона.

Максимальное количество люминесцирующих органических веществ отмечалось летом 1963 г. (пр. 0709, 0708, 0710, 1706, 0703, 0705, 0701, 0702, табл. 33). Относительное содержание отдельных групп в период наблюдений менялось незначительно.

Содержание в водах люминесцирующей органики повышается от верхней части склона к нижней от весны (пр. 0974, 0975, 0953, 0954) к лету. От автономных к подчиненным ландшафтам увеличивается содержание высокомолекулярных кислот, масел, т.е. продуктов прижизненного выделения растениями.

Трещинные воды в отличие от почвенно-грунтовых не содержат тяжелых гумусовых веществ.

Таблица 33

Качественная характеристика группового состава люминесцирующей доли органических веществ ультрапресных вод мерзлотно-таежных ландшафтов

Проба	Σh	Нейтральные смолы	Масла	Кислые смолы	Органические кислоты	Легкий гумус	Тяжелый гумус
		в % от общей доли люминесцирующих органических веществ					
<i>Ландшафты кислого глеевого класса</i>							
0709	18	33	Следы	17	Следы	35	15
0777	9	23	10	13	20	34	Не обн.
0708	16	Следы	20	25	Следы	25	30
0776	12	17	11	12	12	24	24
0710	22	18	20	Следы	32	20	10
0775	14	12	13	10	13	25	25
0975	12,5	17	7	14	14	Не обн.	48
0706	16	25	Не обн.	Следы	25	33	17
0774	12	12	12	10	15	25	25
0974	13	23	6	7	10	24	30
0704	15	14	13	20	Следы	Не обн.	53
0754	17	5	24	5	15	"	51
0954	13,5	13	13	7	11	"	56
<i>Ландшафты кислого класса</i>							
0757	8,5	10	37	2	16	35	Не обн.
0705	20	10	10	20	Следы	Не обн.	60
0758	10	20	20	1	14	45	Не обн.
0703	17	12	12	24	Следы	Не обн.	52
0753	12,5	6	22	14	10	24	24
0953	11,5	12	18	6	12	Не обн.	52
0701	21	12	12	10	10	—	56
0761	10	14	21	10	10	—	45
0961	12	21	Следы	9	8	12	50
0700	16	15	16	15	5	49	—
0760	10	10	25	10	10	45	—
<i>Ландшафты переходного (H^+ - Ca^{++}) класса</i>							
0719	14	30	Следы	30	Следы	40	—
0714	14	30	"	30	"	40	—
0751	11	9	18	20	"	53	—

Примечание. 1. Σh — общая высота зоны люминесцирующих органических веществ (мм), служащая относительной характеристикой общего их количества. 2. Относительное содержание масел и органических кислот установлено методом хроматографического выделения их из общей смеси кислых и нейтральных люминесцирующих органических веществ петролейным эфиром. 3. С момента отбора до производства анализа пробы хранились при $t = 12-14^{\circ}C$ в условиях угнетения микрофлоры. Анализы автора.

Таблица 34

Соотношение форм миграции органических веществ в водах мерзлотно-таежных

Проба	Окисляемость, O, мг/л			C _{орг.} (I) сухого остатка, мг/л		
	I	II	III	I	II	III
	2	3	4	5	6	7
0709	5,60	—	—	—	—	—
0777	7,50	0,78	10,4	4,90	0,69	14
0708	13,10	3,27	25	—	—	—
0776	13,30	1,44	10,8	9,80	0,88	9,0
0710	15,40	3,93	25,4	—	—	—
0775	15,80	1,01	6,3	17,70	1,02	5,8
0706	11,20	2,26	20,2	—	—	—
0774	11,80	0,85	7,2	16,00	0,47	3,0
0762	11,60	0,78	7,0	11,72	0,92	8,0
0704	18,80	3,42	18,2	—	—	—
0754	18,60	0,54	2,9	18,20	0,47	2,6
0701	3,50	2,55	72	—	—	—
0761	6,20	0,93	15	4,45	0,83	18,0
0861	4,10	1,08	26	3,54	0,92	26,0
0763	5,30	0,73	14	4,55	0,60	13
0757	3,02	0,39	13	3,12	0,35	12
0705	1,92	0,73	60	—	—	—
0858	2,33	0,62	27	1,83	0,51	28
0703	2,24	1,12	50	—	—	—
0753	2,10	0,70	33	2,12	0,49	23,0
0702	2,88	1,82	63	—	—	—
0700	0,60	0,40	62	—	—	—
0760	0,62	0,46	74	0,76	0,37	49
0713	6,10	2,18	36	—	—	—
0714	1,73	0,82	34	—	—	—
0751	1,70	0,47	27	2,12	0,37	18
0750	2,48	0,81	34	2,04	0,32	16

Примечание. I — исходная проба; II — истинно-растворенные формы (диализат);

Соотношение форм миграции органических веществ. Оценка органических веществ поверхностных и подземных вод с точки зрения их нахождения в виде низкомолекулярных, истинно растворенных и высокомолекулярных, коллоидных форм представляет интерес в связи с выявлением форм миграции ряда элементов, установлением соотношений этих форм. С этой целью непосредственно у водопункта проводился диализ исследуемых вод. Подробности теории и методики диализа изложены в гл. III, здесь же приводятся результаты диализа органических веществ вод ландшафтов кислого глеевого и кислого переходного (H⁺—Ca⁺⁺) классов.

ландшафтов (по данным диализа)

Органические кислоты, мг-экв/л			Капиллярно-люминесцирующая доля органического вещества		
I	II	III	Σh, мм		
9	10	11	I	II	III
9	10	11	12	13	14
0,03	0,01	33	18	16,6	92
0,06	0,02	33	9	9,4	100
0,09	0,02	22	16	14	87
0,07	0,02	29	12	8,9	74
0,12	0,02	17	22	15,3	70
0,09	0,02	22	14	8,9	64
0,09	0,023	25	16	15,2	95
0,05	0,02	40	12	8,25	69
0,13	0,02	15	10,5	7,70	73
0,20	0,03	15	15	13,8	92
0,13	0,03	23	17	10,1	59
0,10	0,02	20	21	14,0	67
0,05	0,02	40	10	10,6	100
—	—	—	—	—	—
0,07	0,02	29	10	8,25	82
—	—	—	8,5	7,65	90
0,02	≤ 0,02	—	20	14,4	72
—	—	—	10	8,85	88,5
0,07	0,02	29	17	15,4	90
≤ 0,02	≤ 0,02	—	12,5	8,25	66
0,07	0,02	29	15	14,0	93
0,02	—	—	16	14,0	88
≤ 0,02	≤ 0,02	—	—	—	—
—	—	—	14,4	13,0	90
—	—	—	14,4	17,5	87
—	—	—	8,25	7,0	85
—	—	—	8,25	7,5	91

III — истинно-растворенные формы, %. Анализы автора (1963—1965 гг.).

В диализатах определялись окисляемость (перманганатная), капиллярно-люминесцентная доля органического вещества, органические кислоты и органический углерод сухого остатка. Эти данные представлены в табл. 34. Из таблицы видно, что далеко не все мигрирующие в воде органические вещества проходят сквозь полупроницаемую мембрану из целлофана: от 75 до 90% их не проходит в диализат.

Сравнивая данные по окисляемости диализатов в летний период 1963 и 1964 гг., можно сказать, что соотношение между высоко- и низкомолекулярными соединениями не сохраняется постоянным и находится

в зависимости от степени разложения органического вещества. В период опробования летом 1963 г. стояла очень жаркая погода, несколько выше, чем в 1964 г., была температура воды. Процессы разложения высокомолекулярных органических веществ с образованием веществ с меньшим молекулярным весом, отщепление от сложных молекул функциональных групп протекали более интенсивно. Этим и объясняется большая величина окисляемости диализатов в пр. 0708, 0710, 0706, 0705, 0703, 0701, 0702, 0700. Величины окисляемости пр. 0777, 0776, 0775, 0664 (табл. 34) хорошо согласуются с содержанием $C_{\text{орг}}$ сухого остатка¹ и свидетельствует о том, что количество прошедших через перегородку органических веществ составляет 5–15%. Причем относительное количество низкомолекулярных соединений уменьшается от автономных к подчиненным ландшафтам при увеличении общего количества мигрирующего в водах органического вещества. Органический углерод в диализатах, возможно, принадлежит капиллярно-люминесцирующей доле органического вещества.

Из общего количества растворенных в воде в свободном состоянии кислот низкомолекулярные (муравьиная, уксусная, пропионова и др.) составляют всего 20–35% (табл. 34). Это подтверждается не только данными диализа, но и данными по $C_{\text{орг}}$ летучих кислот и фульвокислот (см. табл. 31).

Люминесцирующая доля органического вещества в основном вся, кроме веществ типа гумусовых, обнаруживается в диализатах (табл. 34), что связано с неколлоидной ее природой.

Данные по окисляемости диализатов и содержанию в них углерода в летний период 1964 г. для грунтово-трещинных и речных вод ландшафтов кислого класса свидетельствуют о прохождении через полупроницаемую мембрану 12–28% органических веществ. Несколько повышенная окисляемость диализатов летом 1963 г. возможно и связана с большим количеством низкомолекулярной органики, но, к сожалению, в этих пробах не определены содержания углерода, подтверждающие это положение.

Трещинные воды содержат незначительные количества органических веществ в основном неколлоидной природы (пр. 0700, 0760).

Люминесцирующая доля органических веществ вод в грунтово-трещинных и трещинных в основном вся, кроме тяжелых веществ гумусового типа, обнаруживается в диализатах.

В целом для вод ландшафтов кислого класса процент высокомолекулярных органических веществ гумусового характера ниже, чем в водах ландшафтов кислого глеевого класса. В водах ландшафтов переходного ($H^+ - Ca^{++}$) класса в коллоидных формах мигрирует от 65 до 80% нелетучих органических веществ (органические вещества сухого остатка).

¹Содержание $C_{\text{орг}}$ низкомолекулярных летучих с водяным паром соединений (табл. 32) из-за отсутствия в то время метода их определения не учитывалось ни в исходных водах, ни в диализатах. Последние, имея небольшие размеры молекул, должны полностью проходить сквозь целлофановую мембрану.

Люминесцирующая доля органических веществ в основном мигрирует в истинно растворенной форме (табл. 34).

Приведенные данные свидетельствуют о том, что основная часть органических веществ мигрирует в высокомолекулярной коллоидной форме. По данным ряда исследователей (Кононова, 1963, Манская, 1964, Flaig, 1951; 1954; Thile, 1953 и др.), гуминовые и фульвокислоты обладают коллоидными свойствами и в зависимости от сложности строения молекулы отличаются степенью дисперсности, рассматриваются как полимерные соединения. Молекула гуминовой кислоты представляется как сфероколлоид, состоящий из сферических или дискообразных частиц (Дубинин, Фильков, 1968).

Исследуя состав органических веществ воды истока Москвы-реки, Г.М. Варшал с сотрудниками (Варшал, Велюханова и др., 1973) пришли к следующему выводу: около 64% фульвокислот не способны к миграции через целлофан и представлены частицами размером 17–500 мкм.

Через целлофан не проходят и такие высокомолекулярные соединения, как белки, протамины, различные продукты поликонденсации, мицеллярные ассоциаты низкомолекулярных веществ (масла, красители и др.).

Надо отметить еще и то, что прохождение через целлофан органических веществ усложняется влиянием адсорбции поверхностно-активных веществ (кислот, спиртов и др.) на более активных местах поверхности мембраны, что приводит к экранированию двойного электрического слоя на поверхности и уменьшению величины электрокинетического потенциала (Григорьев и др., 1956). Однако этот вопрос нуждается в дальнейшей разработке и осмысливании, особенно для природных систем.

Концентрат органических веществ, полученный вымораживанием, фракционировался методом электрофореза на бумаге (на ФЛ-1). При этом основная часть органических веществ двигалась к аноду (+). На линии старта оставалась лишь небольшая часть нанесенных органических соединений в виде узкой коричневой полоски. Это свидетельствует о миграции окрашенного органического вещества в отрицательно заряженной форме. В пробе 0954 некоторая часть ($< \sim 1/4$) органических веществ сместилась в сторону отрицательно заряженного полюса. Положительный заряд органических веществ можно представить в виде оксониевого основания, который при электрофорезе движется как катион (Дьяконова, 1964).

Пропускание природных вод через ионнообменные смолы показало, что катионитом КУ-2 органические вещества практически не поглощаются: анионит марки АВ-17 поглощает более 80% окрашенного органического вещества: окраска вод после пропускания через анионит становится едва заметной (табл. 35). Это же явление подтверждается работами К.В. Дьяконовой (Дьяконова, 1964) по исследованию гумусовых веществ почвенных растворов и экспериментами по применению ионообменных смол для изучения гумусовых веществ, И. Проха (1961), который считает, что растворы гуминовых и фульвокислот содержат незначительные количества положительно заряженных органических ионов, являющихся продуктами разложения белков.

Таблица 35

Изменение цветности ультрапресных вод ландшафтов кислого глеевого класса при пропускании через ионообменные смолы

Проба	Цветность исходной пробы, °Pt-Со шкалы	Цветность воды после пропускания через иониты	
		катионит	анионит
1775	190	180	20
1774	100	100	15

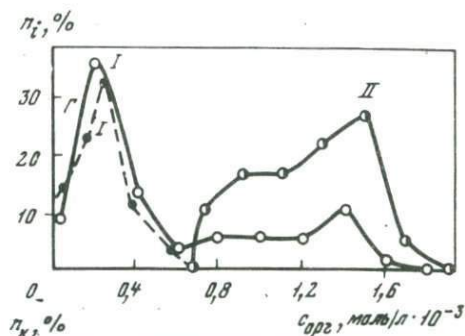
Итак, во всех трех классах ландшафтов водорастворимые органические вещества имеют близкий качественный состав. Это доказывается близкой величиной степени окисления органических веществ перманганатом калия, равной 40%, одинаковым составом капиллярно-люминесцирующей доли органических веществ (Быкова, Никитина, 1964). Идентичны инфракрасные спектры гуминовых кислот, выделенных из вод различных классов ландшафтов. Органические вещества сухого остатка вод имеют преимущественно коллоидную, высокомолекулярную природу. При диализе через полупроницаемую мембрану проходит 5–15% этих веществ, обладающих отрицательным зарядом, что подтверждается исследованием методами электрофореза на бумаге и ионного обмена.

Установлено количество $S_{орг.}$ различных классов летучих органических соединений — нейтральных, основных, кислых, являющихся продуктами прижизненного выделения растениями (углеводороды, эфиры, магла) и продуктами окислительного распада и биохимического преобразования органических веществ (кислоты, амины).

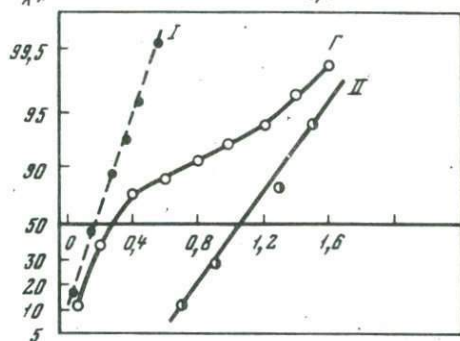
Количественное соотношение между качественно различными группами органических веществ подвержено сезонным изменениям, что связано с различной скоростью поступления и биохимическими процессами, наиболее интенсивно протекающими летом. Так, минимальное количество $S_{орг.}$, связанного с низкомолекулярными кислотами летучими с водяным паром, летучими основаниями и другими низкомолекулярными соединениями приходится на весенний период. Летом заметно повышается общее количество органических веществ. Осенью концентрации низкомолекулярных соединений как продуктов преобразования органических веществ увеличиваются, а высокомолекулярных сокращаются.

Органические вещества являются основным геохимическим фактором, определяющим подвижность и формы миграции элементов, а также рН, содержание углекислоты (рис. 16). Необходимость количественного определения содержания органических веществ диктуется его первостепенной ролью в геохимии этих вод. Поскольку определение углерода затруднительно, а иногда и невозможно (отсутствие специальной установки), для характеристики общего количества органических веществ часто пользуются результатами определения перманганатной окисляемости. Для исследуемых вод степень окисления высокомолекулярных

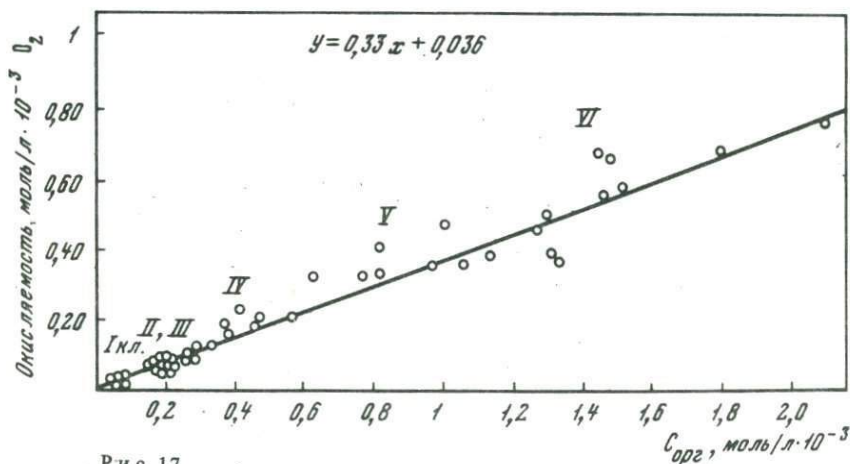
Р и с. 16. Эмпирические кривые распределения $C_{орг.}$ в ультрапресных водах Алданского нагорья



Р и с. 17. Взаимосвязь органического углерода и кислорода окисляемости в водах северо-таежных мерзлотных ландшафтов Алданского нагорья



Р и с. 16.



Р и с. 17.

органических веществ перманганатом калия колеблется в пределах 30–50%, составляя в среднем 40%.

Кривые распределения генеральной совокупности данных ($N = 45$) концентраций $C_{орг.}$ и значений окисляемости ультрапресных вод северо-таежных мерзлотных ландшафтов Алданского нагорья имеют бимодальный облик (рис. 16). Четко намечаются два распределения. Это воды кислого и переходного ($H^+ - Ca^{++}$) классов (кривая I) и воды кислого

глеевого класса (кривая II) ландшафтов. В целом же распределения концентраций органических веществ не обособлены и имеют общие площади пересечения.

Коэффициент корреляции $C_{орг.}$ по окисляемости равен $0,75 \pm 0,09$ (для вероятности 0,95). Величина коэффициента корреляции между указанными параметрами предполагает достаточно тесную связь, которая может быть выражена линейной зависимостью (рис. 17):

$Y = 0,33x + 0,036^1$, где Y – перманганатная окисляемость, моль/л $\cdot 10^{-3}$ O_2 ; X – органический углерод, моль/л $\cdot 10^{-3}$.

Эту и другие зависимости ($pH-C_{орг.}$, $pH-CO_2$)² наиболее полно отражают воды ландшафтов кислого глеевого класса, почвенные воды (VI класс), по сравнению с водами других классов, занимающих на графиках довольно ограниченные участки. Следовательно, почвенные воды как наиболее тесно связанные с ландшафтно-геохимическими условиями отражают более общие закономерности, свойственные ультрапресным всдам северо-таежных мерзлотных ландшафтов.

РОЛЬ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В МИГРАЦИИ РУДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Существенной особенностью ультрапресных вод исследуемой территории является значительное преобладание (в 5–10 раз) фульвокислот над гуминовыми. Фульвокислоты в нейтральных и кислых средах способствуют удержанию металлов в растворе, повышению их миграционной способности, расширению общего спектра микрокомпонентов в водах. Эти свойства фульвокислот подтвердились экспериментальными работами (Солодовникова, 1967, Бондаренко, 1968). Действительно, исследуемые воды ландшафтов кислого глеевого класса, наиболее обогащенные органическими веществами (ОМК 1,5 и 2,54), содержат повышенное количество железа, алюминия³ (рис. 18, 19) и богатую гамму микрокомпонентов и выглядят аномальными по сравнению с остальными, отобранными в той же литологической обстановке (табл. 36).

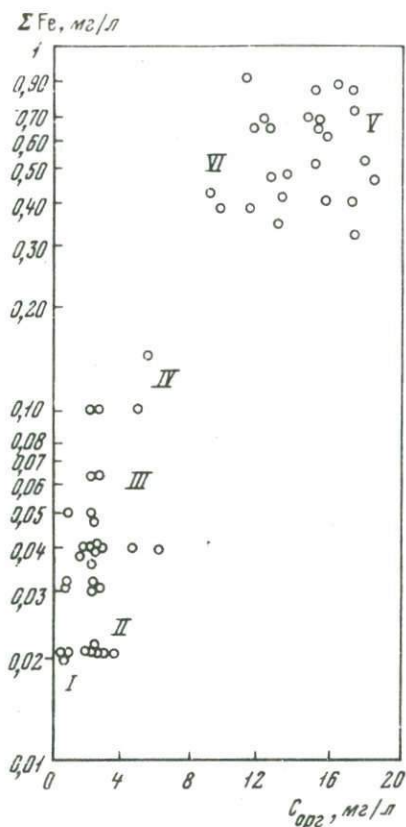
В водах с высокой концентрацией органических веществ (VI класс) по сравнению с остальными водами заметно возрастают коэффициенты водной миграции алюминия, железа, марганца, хрома, циркония, ванадия, цинка, меди, кобальта, иттрия, свинца, бериллия (табл. 37). Большинство элементов этих вод попадает в группу легкоподвижных мигрантов (табл.). С уменьшением количества органических веществ интенсивность миграции элементов сокращается, воды обедняются подвижными формами. Так, в водах с низким содержанием органических веществ ($C_{орг.}$ до 1 мг/л) слабоподвижными становятся алюминий, железо,

¹ Значения параметров a и b рассчитаны по способу наименьших квадратов.

² Сглаживающиеся прямые получены канальным методом по Вернеру (Wörner, 1957).

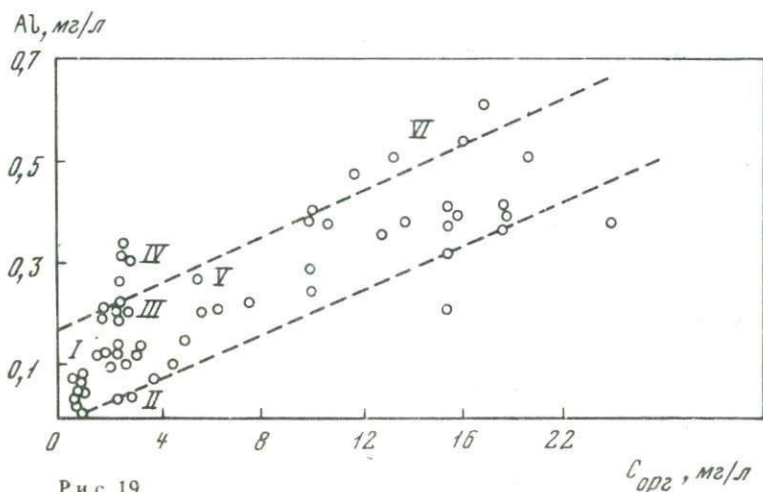
³ Коэффициент корреляции $r_{K_{Al}/C_{орг.}}$ = $0,92 + 0,06$ с вероятностью 0,95.

Р и с. 18. Корреляционное поле точек содержания железа и $C_{орг}$ в водах северо-таежных мерзлотных ландшафтов Алданского нагорья



Р и с. 18.

Р и с. 19. Корреляционное поле точек содержания алюминия и $C_{орг}$ в водах северо-таежных мерзлотных ландшафтов Алданского нагорья



Р и с. 19.

Таблица 36

Содержание рудных элементов в водах с различной концентрацией органических веществ (безрудные участки), мкг/л

Элементы	Грунтово-трещинная (4 пробы)	Почвенно-грунтовая, болотная (4 пробы)	Открытые водотоки	
			руч. Леглиер (6 проб)	руч. Рыжий (6 проб)
Al	100	390	200	390
Fe	50	340	105	620
Mn	<1	6,0	2,0	10
P	4,5	7,7	4,0	8,7
Cr	0,4*	3,0*	0,4*	2,0*
Zr	0,3*	1,0*	0,5*	1,0*
Cu	0,6	3,0	0,6	2,5
Ni	0,3*	1,7*	0,2*	1,8*
Zn	2 ^o	5,0	0,8*	2,5
Co	0,1*	0,3*	0,03*	0,2*
Pb	0,2*	1,8*	0,2*	1,5*
B	<1	3,0	<1	2,0
Ce	<1*	3,2*	<1*	4,0*
ОМК	0,12	2,54	0,14	1,50

* Результаты спектрального полуколичественного метода определения.

титан, марганец, медь, кобальт, свинец (табл. 37, 38). Для кремния, кальция, натрия, калия этого не наблюдается. Поэтому можно считать, что поступление этих элементов в воды связано преимущественно не с минерализацией органических остатков, а с химическим выветриванием пород.

В водах на карбонатных породах (II класс), где относительное количество органических комплексобразователей значительно ниже, чем на кислых породах, марганец, титан, ванадий также попадают в группу слабых мигрантов, слабо мигрируют также алюминий и хром (табл. 38).

На рис. 20, 21 представлены зависимости содержаний меди и цинка от концентрации органического углерода в водах¹. Эта связь четко проявляется для вод ландшафтов кислого глеевого, кислого и переходного (от кислого к кальциевому) классов на безрудных участках. Воды ландшафтов кислого глеевого класса, как наиболее обогащенные органическим веществом, содержат повышенные количества меди (3–4,5 мкг/л) и цинка (5–6 мкг/л) по сравнению с водами ландшафтов кислого класса (Cu – 0,5 мкг/л и Zn 1–2 мкг/л). Таким образом, фоновые содержания этих элементов в водах различных классов ландшафтов неодинаковы.

Воды, отобранные на участках рудных месторождений, по содержанию меди и цинка весьма контрастны, по сравнению с фоновыми водами.

Коэффициенты корреляции $r_k \text{ Cu/C}_{\text{орг.}} = 0,90 + 0,05$, $r_k \text{ Zn/C}_{\text{орг.}} = 0,82 + 0,01$ с вероятностью 0,95.

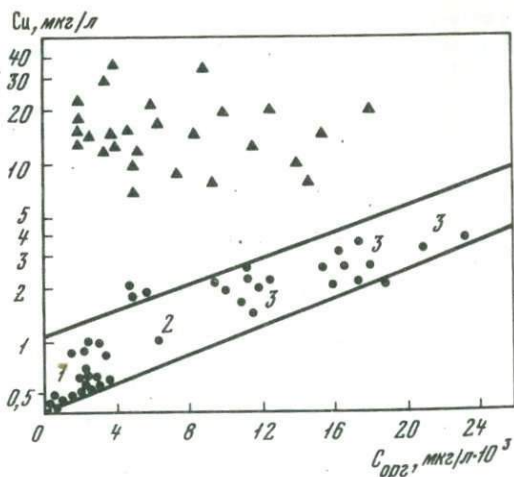
Ряды миграции химических элементов для различных классов вод Алданского нагорья

Характеристика	Коэффициент волной миграции, K_x									
	100	10	5	3	1	0,75	0,25	0,10		
I. Очень подвижные мигранты	$S_{>100}$	$Cl_{>100}$								
	$S_{>100}$	$Cl_{>60}$								
	$S_{>100}$	$B_{>20}$								
	$S_{>100}$	$Cl_{>35}$								
II. Легко подвижные мигранты			$Ca_{7,6}Mo_{5,8}$	$Sr_{4,3}Mg_{3,9}B_{3,2}Ba_{3,1}$						
			$Ni_{6,8}$	$S_{4,2}$	Sn_3	$Li_{1,9}$	$Cu_{1,9}$	$Sr_{1,8}$	$B_{1,7}$	$Mg_{1,3}$
					$Mg_{1,3}$	$Na_{1,3}$	$Ca_{1,2}$	Ba_1	Nb_1	
			$Ca_{9,3}$		$Mg_{3,5}$	$Ni_{3,5}$	Na_3	$Ba_{2,4}$	$Cu_{2,3}$	$Sr_{2,1}$
									$Sn_{1,3}$	$Si_{1,0}$
					$Mg_{5,3}$		$Cr_{2,9}$	$Ca_{2,5}$	$P_{1,1}$	$Fe_{1,1}$
									$Sr_{1,0}$	
			$Cr_{6,8}$		$Mo_{4,6}$	$Cu_{4,5}$	$Sr_{3,7}$	$Zn_{3,1}$	$Y_{2,7}$	$Ca_{2,8}$
									$Ni_{2,8}$	$Na_{2,3}$
									$Sn_{2,2}$	
									$Li_{1,7}$	$La_{1,6}$
									$Co_{1,4}$	$Mg_{1,4}$
									$Pb_{1,4}$	$B_{1,3}$
									$Fe_{1,3}$	$Be_{1,3}$
									$P_{1,3}$	$Si_{1,2}$
									$B_{1,1}$	$As_{1,1}$
III. Подвижные мигранты									$Si_{0,8}$	$P_{0,7}$
									$Ni_{0,5}$	$Cr_{0,5}$
									$V_{<0,3}$	$Zn_{<0,3}$
									$Be_{<0,2}$	$Zr_{<0,2}$
									$La_{0,9}$	
									$Co_{<0,5}$	$Cr_{0,3}$
									$K_{0,25}$	$Si_{0,2}$
									$Al_{0,2}$	$Pb_{0,15}$
									$Fe_{0,12}$	
									$Cr_{0,9}$	$Ba_{0,9}$
									$La_{0,9}$	$Zn_{<0,8}$
									$Li_{0,7}$	$Be_{0,3}$
									$K_{0,3}$	$Y_{0,3}$
									$Zr_{<0,3}$	$Fe_{0,25}$
									$Mn_{0,17}$	$Al_{0,1}$
									$Co_{<0,3}$	$Ti_{0,3}$
									$Ni_{0,9}$	$Nb_{0,9}$
									$Sc_{0,8}$	$Mo_{0,8}$
									$Cu_{0,6}$	$Li_{0,6}$
									$Co_{0,5}$	$Si_{0,45}$
									$Ba_{0,4}$	$V_{0,35}$
									$Zn_{0,3}$	$Be_{0,3}$
									$Al_{0,3}$	$Zr_{0,2}$
									$Mn_{0,2}$	$Ti_{0,17}$
									$Pb_{0,1}$	
									$Fe_{0,9}$	$Zr_{0,9}$
									$V_{0,8}$	$Mn_{0,7}$
									$K_{0,6}$	$Nb_{0,6}$
									$Al_{0,4}$	
									$Ca_{0,2}$	$Ti_{0,25}$
IV. Слабо подвижные мигранты									$Li_{<0,08}$	$Ca_{<0,05}$
									$Co_{<0,03}$	$Pb_{0,029}$
									$As_{0,02}$	
									$Al_{0,019}$	$Cu_{0,015}$
									$Mn_{<0,01}$	$Fe_{0,005}$
									$Ti_{0,003}$	
									$Mn_{<0,09}$	$V_{<0,05}$
									$Ti_{<0,02}$	
									$V_{<0,006}$	$Pb_{0,05}$
									$Pb_{0,06}$	$Zn_{0,07}$
									$Co_{0,08}$	$Mn_{<0,09}$
									$Fe_{0,09}$	
									$V_{0,08}$	$Ti_{0,002}$
									$Mn_{0,09}$	$As_{0,09}$
									$Ga_{0,02}$	

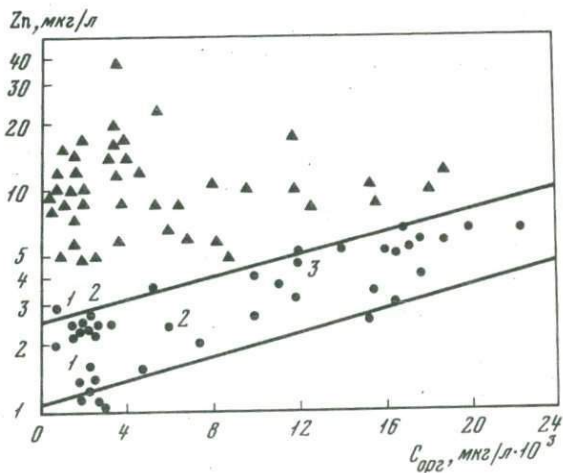
I класс — II класс — III класс — IV класс — V класс — VI класс

Р и с. 20. Корреляционное поле точек содержаний меди и $C_{орг}$ в водах северо-таежных мерзлотных ландшафтов Алданского нагорья

● — безрудные участки:
 1 — ландшафты кислого класса; 2 — ландшафты переходного ($H^+ - Ca^{++}$) класса; 3 — ландшафты кислого глеевого класса. ▲ — железорудное месторождение с сульфидной минерализацией и золоторудные месторождения



Р и с. 21. Корреляционное поле точек содержаний цинка и $C_{орг}$ в водах северо-таежных мерзлотных ландшафтов Алданского нагорья (условные обозначения см. рис. 20)



Однако рассмотренной прямолинейной зависимости здесь не наблюдается. Химический состав этих вод несколько изменен воздействием рудной минерализации (повышенное содержание магния, сульфата (см. табл. 19, гл. III). Основная масса микрокомпонентов в эти воды поступает в результате процессов современного выветривания скрытых рудных толщ и их литохимических ореолов. Кроме того, содержание металлов этих вод зависит от различной удаленности источников от рудных тел, разбавления фоновыми водами.

Однако нет оснований совсем исключать роль органических веществ в формировании химического состава ореольных вод и в формах переноса рудных элементов в них, о чем свидетельствуют ниже описанные проведенные эксперименты по изучению форм миграции меди. Преобладание в природных водах на рудных участках подвижных форм орга-

Таблица 37

Контрастность водной миграции химических элементов для различных классов (I-V) вод Алданского нагорья

Элементы	Коэффициенты контрастности, С**				
	V	IV	III	II	I
Si	2,7	4,0	1,2	6,0	1,5
Al*	1,3	14,0	4,0	2,0	20
Fe*	1,2	30,0	4,5	8,0	180
Ca	1,2	1,5	0,3	2,3	0,4
Na	—	—	0,8	1,8	—
Mg	0,26	0,4	0,4	1	0,4
Ba	2,7	5,5	1,2	1	0,3
Sr	3,7	9,0	1,8	2	—
Ti*	1,0	100	9,0	>10	80
Mn*	3,5	23	4,0	>10	>0
Cr*	2,4	4,5	7,6	23	14
Zr*	4,5	—	>3,0	>4,5	>4,5
V*	2,5	40	9,0	16	>3,0
Zn*	10	44	>4,0	—	>10
Ni*	3	10	1,0	0,4	5,6
Cu*	7,5	18	2,0	2,5	225
Co*	3,0	35	>4,7	>3,0	>47
Y*	—	—	9,0	—	—
B	—	0,06	0,5	1,0	0,4
Pb*	14	17	23	90	56

* Элементы, для которых интенсивность миграции возрастает.

** Коэффициент контрастности С представляет отношение коэффициентов водной миграции элемента в разных процессах (Перельман, 1968).

нических веществ также повышает миграционную способность выносимых из рудных тел элементов.

По литературным данным известно, что водам с преобладанием гуминовых кислот в кислых и нейтральных средах соответствует незначительное разнообразие микрокомпонентов. Это связано с извлечением из вод в торфянистые отложения Cu, Bi, Pb, Be, Cr, Mn в виде нерастворимых гуматов. Ni, Co, Zn извлекаются в меньшей степени (Солодовникова, 1967). Такое же явление наблюдается в водах Забайкалья (Шабунин, 1968), в водах района Норильска (Шварцев, 1965), в водах торфянистого массива Томской области (Рассказов, Солодовникова и др., 1966).

ФОРМЫ МИГРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ

При изучении химического состава ультрапресных вод было установлено, что кипячение пробы с окислителями (H_2O_2 , HNO_3 , $(NH_4)_2S_2O_8$) или сплавление сухого остатка вод с пиросульфатом калия дают большие содержания определяемых компонентов: Fe, Al, H_2SiO_3 , Cu, Zn. Характерные для вод изучаемых ландшафтов незначительная минерализация, преобладание органических веществ над минеральными, фульвокислот над гуминовыми способствуют повышению устойчивости и увеличению миграционной способности органо-минеральных комплексных соединений.

Гуминовые и фульвокислоты, представляющие собой полициклические оксикарбоновые соединения, имеющие в своем составе несколько функциональных групп OH и COOH, относятся к лигандам, способным сочетаться с очень большим числом элементов и являются эффективными агентами в коллоидной транспортировке Fe, Al, Cu, Zn. Стабильность этих металлоорганических коллоидов увеличивается с увеличением концентрации органических кислот.

Различная насыщенность вод биогенно-воздушными компонентами, связанная с ландшафтно-геохимическими условиями областей их питания, оказывает влияние на соотношение форм миграции элементов. Так, относительно невысокие концентрации органических веществ свободной углекислоты, близкая к нейтральной реакция вод определяют соотношение форм миграции элементов в водах ландшафтов кислого класса. Меньшая роль биогенно-воздушных мигрантов сокращает диапазон возможных реакций как в самих водах, так и в системе твердая фаза \rightleftharpoons раствор и обедняет раствор подвижными формами. Однако даже небольшое количество водорастворимых органических веществ не остается безучастным к формам переноса ряда литогенных элементов.

Данные таблиц 39–47 показывают некоторое повышение содержания элементов после разрушения органических веществ окислением. Лишь в трещинных водах (пр. 0700-1760), содержащих следы органических веществ, этого не наблюдается. Необходимо отметить также определенную роль в миграции элементов низкомолекулярных органических веществ, выделение и идентификация которых являются гораздо более сложной и пока во многом неразрешенной задачей.

В водах ландшафтов переходного ($H^+ - Ca^{++}$) класса органические вещества составляют всего около 2–7% и влияние их на миграцию минеральных компонентов выражено гораздо слабее, чем в водах ранее

Таблица 39

Формы миграции железа и алюминия в ультрапресных водах северо-таежных мерзлот,

Проба	Железо								
	Исходная проба (мг/л)		Нереакционно-способные формы		Реакционноспособные формы			Коллоидные формы	
					Общее количество	Истинно растворенные (диализат)	Нестойкие комплексные соединения		
	I	II	мг/л	%				%	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Ландшафты кислого глеевого класса

0777	0,09	0,14	0,05	36	64	34	30	0,092	66
0708	0,35	0,57	0,22	39	61	2	59	0,56	98
0776	0,42	0,22	—	—	100	2	—	0,21	98
0710	0,82	0,39	—	—	100	5	—	0,37	95
0775	0,83	0,31	—	—	100	9	—	0,28	91
0706	0,93	0,61	—	—	100	3	—	0,59	97
0774	1,07	0,40	—	—	100	10	—	0,36	90
0704	0,20	0,24	0,04	17	83	14	69	0,18	76
0954	0,32	0,37	0,05	13	87	24	63	0,28	76
0762	0,39	0,73	0,34	46,5	53,5	7	46,5	0,675	93

Ландшафты кислого класса

0705	0,425	2,34	1,92	82	18	2	16	2,30	98
0761	0,165	1,61	1,44	90	10	6	4	1,53	94
0861	0,18	0,74	0,56	76	24	2	22	0,72	98
0961	0,21	0,73	0,52	72	28	6	22	0,69	94
0763	0,05	0,22	0,17	77	23	46	—	0,12	54
0705	0,04	0,08	0,04	50	50	22	28	0,06	78
0758	0,02	0,10	0,08	79	21	30	—	0,07	70
0703	0,04	0,12	0,08	67	33	18	15	0,10	82
0753	0,04	0,11	0,07	68	32	18	14	0,09	82
0953	0,06	0,10	0,04	40	—	90	—	0,01	10
0700	≤ 0,02	0,02	—	—	—	100	—	—	—
0760	≤ 0,02	0,03	—	—	—	100	—	—	—

Ландшафты переходного (H⁺ - Ca⁺⁺) класса

0713	≤ 0,02	0,057	0,037	65	35	35	—	0,037	65
0714	≤ 0,02	0,043	0,023	54	46	37	9	0,027	63

Примечание. I – без предварительного разрушения органических веществ и коллоидов органических веществ и коллоидов.

В большинстве проб ландшафтов кислого глеевого класса ввиду сильно мешающих органических веществ, определение алюминия выполнялось только после разрушения

ных ландшафтов Алданского нагорья

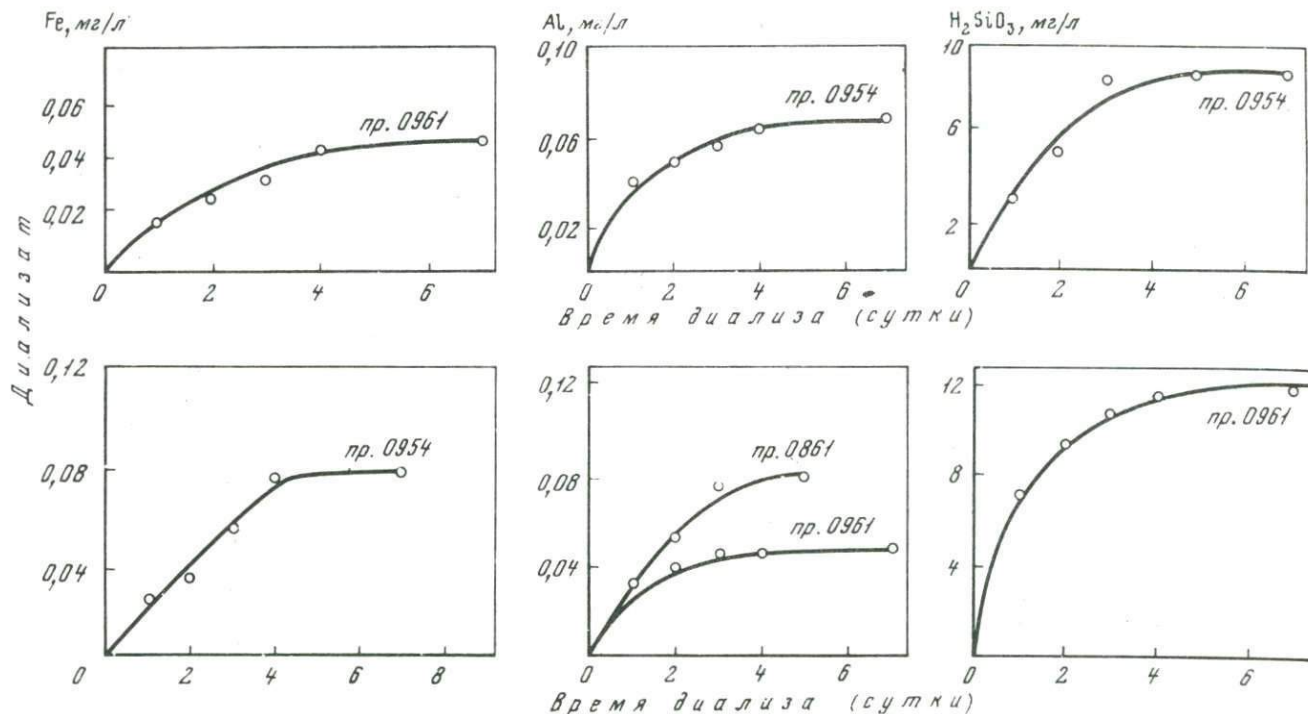
Алюминий								
Исходная проба (мг/л)		Нереакционно-способные формы		Реакционноспособные формы			Коллоидные формы	
				Общее количество	Истинно растворенные (диализат)	Нестойкие комплексные соединения		
I	II	мг/л	%				%	%
11	12	13	14	15	16	17	18	19
<i>Ландшафты кислого глеевого класса</i>								
0,09	0,14	0,05	43	0,57	30	27	0,098	70
0,35	0,52	0,17	33	67	8	59	0,48	92
—	0,28	—	—	—	15	—	0,24	85
—	0,41	—	—	—	15	—	0,35	85
—	0,40	—	—	—	25	—	0,30	75
0,30	0,61	0,31	50	50	10	40	0,55	90
—	0,50	—	—	—	12	—	0,44	88
—	0,51	—	—	—	15	—	0,43	85
—	0,34	—	—	—	15	—	0,29	85
0,17	0,48	0,31	64	36	21	15	0,38	79

Ландшафты кислого класса

0,154	0,380	0,23	60	40	24	16	0,29	76
—	0,100	—	—	—	50	—	0,05	50
0,11	0,22	0,11	50	50	24	26	0,18	76
0,05	0,10	0,05	50	50	47	3	0,053	53
0,04	0,20	0,16	80	20	23	—	0,16	77
0,20	0,34	0,14	43	57	30	27	0,24	70
0,08	0,35	0,27	77	23	23	—	0,27	77
0,03	0,08	0,05	63	37	37	—	0,05	63
0,06	0,12	0,06	50	50	32	18	0,08	68
—	0,04	—	—	—	83	—	0,007	17
—	0,05	—	—	—	74	—	0,014	26

Ландшафты переходного (H⁺ - Ca⁺⁺) класса

дов (определения, выполненные непосредственно у водопункта), II – с разрушением собственной окраски вод, обусловленной присутствием большого количества органических веществ.



Р и с. 22. Кинетика диализа соединений железа Fe (а), Al(б), H₂SiO₂ (в)

лах рН, этому способствует также защитное действие золя фульвокислот. Чем больше относительное содержание фульвокислоты и чем более разбавлен раствор в отношении железа, тем более подвижен органо-минеральный компонент.

Экспериментальной работой К.В. Дьяконовой (1962) также было установлено, что фульвокислоты являются более активными комплексообразователями, чем гуминовые кислоты. Фульваты железа наиболее устойчивы в кислой и слабокислой среде, при повышении рН создаются условия для присоединения к железу ОН-групп и образзачения соединений типа основных солей, являющихся менее устойчивыми и разлагающимися на фульвокислоты и $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Работами Шапиро (Shapiro, 1964) было установлено, что комплексы железа с фульвокислотами образуют коллоидные растворы с размером диспергированных частиц от 0,10 до 0,22.

Сравнивая результаты определения железа с разрушением и без разрушения органических веществ и данные диализа (табл. 39), можно отметить, что большая часть природных коллоидных и высокомолекулярных соединений железа реагирует с соответствующими реактивами (d, d' -дипиридиллом и КСНС) непосредственно у источника. По-видимому, эти сильные комплексообразователи разрушают природные органо-минеральные соединения железа, т.е. природные комплексы обладают меньшей устойчивостью.

В речных и грунтово-трещинных водах ландшафтов кислого класса от 55 до 80% железа мигрирует в коллоидной форме, вероятно, связанным с высокомолекулярными органическими веществами в комплексные соединения хелатного типа или в виде золя $\text{Fe}(\text{OH})_3$, защищенного коллоидными органическими веществами (табл. 39). Весной (пр. 0953) количество этих форм резко снижается, что связано с ослаблением коагуляционных процессов.

В грунтово-трещинных опалесцирующих водах¹ (пр. 0701-1761, табл. 39) железо в основном (93–96%) мигрирует в коллоидной форме. В этих водах коллоиды могут быть как минерального (вероятно, преобладающие) происхождения, связанные с выносом из зон тектонических нарушений, так и органо-минерального². В трещинных водах коллоидные формы отсутствуют, все железо мигрирует в истинно растворенной форме.

Различен по величине и коэффициент диализа железа: для речных вод $\sigma_{\text{ср}} = 1,1 \cdot 10^{-4}$ мг/см² · сутки, для опалесцирующих — $7,1 \cdot 10^{-5}$, для трещинных $5 \cdot 10^{-4}$, т.е. в трещинных водах диализ соединений железа протекает быстрее, чем во всех остальных. Для грунтово-трещинных, опалесцирующих вод равновесие в системе при диализе железа наступает на пятые сутки (рис. 22, б).

Сопоставляя данные табл. 39, отмечаем, что часть соединений железа, мигрирующих в коллоидной форме (10–80% гр. 6 табл. 39) реагирует

¹ Воды, миграция коллоидов в которых хорошо заметна на глаз.

² Раздельное определение минеральных и органо-минеральных форм коллоидов не производилось.

с применяемыми для определения Fe^{2+} и Fe^{3+} реагентами непосредственно у источника без предварительного окисления органических веществ. По-видимому, это количество железа связано в органо-минеральные комплексы меньшей прочности, чем комплексы с применяемыми реагентами.

Остальная часть не прошедших через мембрану соединений мигрирует возможно в виде минеральных коллоидов, не разрушающихся на холоду при добавлении комплексообразующих агентов (гр. 5, табл. 39).

В опалесцирующих водах (пр. 0701-0961) этих "нестойких" соединений значительно меньше (4–22%) (что не прошло через мембрану, то не прореагировало у источника), т.е. миграция железа осуществляется в виде коллоидов, не поддающихся разрушению соответствующими реагентами при низких температурах.

В трещинных водах все железо обнаруживается непосредственно у источника и проходит сквозь полупроницаемую мембрану, т.е. мигрирует в истинно растворенной форме.

Содержание коллоидных форм железа по данным диализа в водах ландшафтов переходного (H^+ – Ca^{++}) класса, отобранных в летнее жаркое время, составляет 65% (пр. 0713, 0714, табл. 39). В пробах, отобранных в начале лета, в период дождей (0751, 0750) эти формы железа не обнаружены. Величина коэффициента диализа для вод этого ландшафта равна в среднем $1,4 \cdot 10^{-4}$, т.е. почти такая же, как в водах ландшафтов кислого класса. Время, необходимое для равновесия при диализе железа в этих водах, равно 3,5 суткам.

Сконцентрированные в 100 раз пробы воды (из 1 л получено 10 мл) исследовались электрофорезом на бумаге. При этом подавляющая часть органических веществ двигалась к положительному полюсу, т.е. вела себя как анион. На электрофореграммах в направлении к аноду после опрыскивания раствором $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ на фоне коричневой окраски органических веществ была заметна синяя окраска, связанная с наличием железа. На линии старта и в направлении к катоду железо не было обнаружено. Отсюда следует, что комплексы железа с фульвокислотами в этих водах ведут себя как анионы, сохраняя относительно высокое содержание анионных функциональных групп, на что также указывается в работах К.В. Дьяконовой (1962) и Е.И. Соколовой (1968), Shapiro (1964).

При анализе водорастворимого органического вещества капиллярно-люминесцентным методом (гл. III) было отмечено появление коллоидных пленок (эмульсий) светло-коричневого цвета на границе раздела водного и органического слоев. В литературе (Барс, Коган, 1965) имеются указания на образование таких пленок гуминовыми кислотами (эмульсионная экстракция). В этих "пленках" было определено от 56 до 76% железа, количество которого возрастает в водах подчиненных ландшафтов (табл. 40). В хлороформе, экстрагирующем из воды кислые и нейтральные масла, смолы, асфальтогены, содержание железа не превышало 0,025 мг/л, а в изобутиловом спирте – 0,06–0,07 мг/л. Это говорит о том, что большая часть железа мигрирует или в форме металлоорганических комплексов или представляет собой мицеллярные агрегаты с гумусовыми веществами.

Таблица 40

Экстракция органо-минеральных комплексных соединений органическими растворителями

Класс вод	Проба	Fe _{общ.}				
		Исходная проба, мг/л	Эмульсии, мг/л	%	После экстракции, мг/л	%
<i>Ландшафты кислого глеевого класса</i>						
VI	0704	0,200	0,136	63	0,074	37
	0706	0,600	0,470	73	0,16	27
	0708	0,570	0,494	84	0,09	16
	0709	—	—	—	—	—
	0710	0,392	0,250	70	0,120	30
	0954	0,366	0,269	52	0,174	48
	0974	0,499	0,333	67	0,163	33
	0975	0,607	0,318	64	0,280	46
	1775	0,660	0,458	69	0,170	26
	1774	0,570	0,420	73	0,120	21
	<i>Ландшафты кислого класса</i>					
III	0953	0,097	0,016	14	0,083	86
	0703	0,120	0,076	55	0,056	45
	1753	0,085	0,047	55	0,039	46
	0705	0,076	0,043	57	0,040	43
	0758	0,137	—	—	—	—
	1758	0,100	0,058	58	0,045	45
	I	0760	0,043	< 0,015	—	0,35
0960		0,086	≤ 0,02	—	0,066	80
IV	0763	0,215	—	—	0,101	47
	0701	2,50	2,32	93	0,18	7
V	0761	1,61	—	—	0,38	23
	0961	0,731	0,620	85	0,111	15
	1761	2,27	1,72	76	0,35	15
<i>Ландшафты переходного (H⁺-Ca⁺⁺) - класса</i>						
II	0713	0,060	0,066	100	—	—
	0750	0,036	0,020	56	0,016	44
	0714	0,030	0,040	100	—	—
	0751	0,019	0,020	100	—	—

Анализы автора.

Неудачная попытка применить метод определения Fe²⁺ с ортофенантромином (гл. III), предусматривающий предварительное экстрагирование изобутиловым спиртом, также является дополнительным свидетельством миграции Fe²⁺ в виде сложных органо-минеральных соединений с органическими веществами.

Данные определения железа в органических экстрактах вод ландшафтов кислого класса, представленные в табл. 40, показывают, что 30–50% от общего содержания железа сосредоточивается в коллоидных

веществами в различных классах ультрапресных вод мерзлотно-таежных ландшафтов

Al _{общ.}					H ₂ SiO ₃		
Исходная проба, мг/л	Эмульсии, мг/л	%	После экстракции, мг/л	%	Исходная проба, мг/л	После экстракции, мг/л	% после экстракции
<i>Ландшафты кислого глеевого класса</i>							
1,00	0,010	1,0	0,65	65	—	—	—
0,610	0,019	25	0,46	75	—	—	—
0,520	0,08	27	0,38	73	—	—	—
0,200	0,035	17	0,26	83	—	—	—
0,410	0,03	7	0,49	93	—	—	—
0,341	0,05	3	0,332	97	9,50	8,95	95
0,225	0,022	—	0,230	100	8,95	9,10	100
0,365	0,044	18	0,300	82	8,90	8,70	100
0,360	0,030	8	0,320	87	10,90	10,55	97
0,190	0,07	—	0,21	100	10,45	10,20	97,5
<i>Ландшафты кислого класса</i>							
0,120	0,015	6	0,113	94	16,20	15,70	97
0,349	0,069	20	0,260	80	—	—	—
0,075	≤ 0,02	—	0,070	93	16,05	15,40	97
0,200	0,070	—	0,27	100	—	—	—
0,340	0,033	—	0,360	100	11,63	10,20	88
0,124	≤ 0,02	—	0,110	89	14,20	13,75	97
0,040	0,02	18	0,033	82	22,20	22,80	100
0,018	0,01	—	0,20	100	24,80	24,40	98
0,101	0,02	4	0,096	96	10,08	10,20	100
n—	0,017	—	n—	100	12,50	12,80	100
0,380	0,134	35	0,200	52	12,30	11,90	97
0,233	0,073	16	0,196	84	11,60	11,40	100
0,430	0,100	23	0,360	84	13,40	12,90	96,5
<i>Ландшафты переходного (H⁺-Ca⁺⁺) - класса</i>							
0,22	< 0,02	—	0,28	100	3,02	—	—
0,015	< 0,015	—	0,015	100	5,05	5,22	100
0,20	< 0,02	—	0,20	100	4,80	4,40	100
0,015	< 0,015	—	0,015	100	3,90	—	—

“пленках” на границе раздела хлороформа и воды, некоторая часть железа обнаружена в изобутиловом спирте, экстрагирующем гумусовые вещества. Хлороформенные экстракты содержат следовые количества железа, т.е. железо не связано с органическим веществом типа асфальтогенов, смол. В воде после экстракции остается 40–50% железа, а в пробе 0953, отобранной весной, — 86%. Таким образом, в этих водах лишь 50–70% железа мигрирует в форме органо-минеральных и коллоидных соединений, остальное железо — в истинно растворенной форме.

Таблица 41

Соотношение положительно и отрицательно заряженных форм миграции железа в водах мерзлотно-таежных ландшафтов

Проба	Содержание Fe, мг/л				
	исходная проба	после катионита	после анионита	% ⁺	% ⁻
0954	0,166	0,132	—	20	80
1754	0,134	0,080	0,05	40	60
15	0,560	0,400	0,120	23	77
1775	0,180	0,150	0,030	17	83
0974	0,109	0,084	—	23	77
1774	0,175	0,112	0,063	35	65
0953	0,097	0,027	—	72	28
1753	0,085	0,040	0,045	54	46
1758	0,100	0,060	0,040	60	40
0961	0,731	0,465	—	38	62
1761	1,56	1,10	0,25	16	70
1755	0,45	0,40	0,04	11	89
1740	0,667	0,48	0,175	27	73
1742	0,390	0,282	0,108	28	72
0960	0,086	≤ 0,02	0,08	93	≤ 7
1760	0,035	≤ 0,02	0,03	90	≤ 10

Примечание. Анализы автора (1965, 1967 гг.).

Особенно много (до 90%) железа в "пленках" (эмульсиях) опалесцирующих вод (пр. 0701—1761, табл. 40), что является свидетельством сложных форм миграции этого элемента. Из трещинных вод железо не экстрагируется органическими растворителями, а остается в воде после экстракции, что является подтверждением миграции в ионной форме.

Для определения знака заряда комплексов воды были пропущены через колонки с ионно-обменными смолами катионит и анионит¹. Соотношение положительно и отрицательно заряженных форм соединений железа представлено в табл. 41.

Из таблицы видно, что от 60 до 83% соединений железа несет отрицательный заряд, а 20—40% — положительный. По этим данным можно судить о заряде лишь наиболее устойчивых органо-минеральных соединений железа, мигрирующих в комплексе с фульвокислотами, которые также несут отрицательный заряд.

В водах ландшафтов кислого класса соотношение положительно- и отрицательно заряженных форм для летнего периода примерно одина-

¹ Этот эксперимент может носить лишь ориентировочный характер, так как с момента опробования до проведения опытов проходило 3—4 недели. К этому времени в пробах несколько сократилось содержание железа вследствие выпадения части его в осадок. Конечно, изменилось и соотношение форм миграции. Поэтому для большей убедительности пропускание через смолы следует проводить, как и анализ, непосредственно у водопункта.

ково, весной (пр. 0953) преобладают катионные формы (табл. 41). Последнее объясняется, вероятно, уменьшением содержания органических комплексообразователей в весеннее время.

В опалесцирующих водах (пр. 0961, 1761) от 60 до 90% соединений железа несет отрицательный заряд, что подтвердилось и электрофорезом на бумаге пр. 0961, где легкое синее окрашивание наблюдалось в направлении анода и на линии старта. В трещинных водах (пр. 1760) соединения железа заряжены положительно, т.е. ведут себя как катионы.

Алюминий. В водах ландшафтов кислого глеевого класса по данным диализа от 70 до 90% алюминия мигрирует в коллоидной форме, количество которой несколько возрастает от автономных к подчиненным ландшафтам (табл. 39). Диализ соединений алюминия протекает быстрее, чем соединений железа. Средняя величина коэффициента диализа почти на порядок выше, чем у железа, $\sigma_{Al} = 2,76 \cdot 10^{-4}$. Равновесие при диализе наступает после трех-четырёх суток (рис. 22).

Как показали исследования вышеуказанных авторов, алюминий также образует комплексные соединения с гумусовыми кислотами, но алюмогуминовые соединения менее устойчивы, чем железогуминовые. Они расщепляются при гидролизе, в них лишь часть алюминия входит в органо-минеральный комплекс, в анионную часть макромолекулы, а часть находится в обменной форме в виде Al^{3+} . Чувствительность золь алюминия к осаждающему действию фульвокислот намного выше, чем для железа, т.е. для золь железа пределы устойчивого существования в растворах значительно шире, чем для золь алюминия. Следовательно, комплексы алюминия обладают меньшей миграционной способностью, чем комплексы железа. Кроме того, защитное действие фульвокислот на золь алюминия не было обнаружено (Пономарева, 1949).

В водах ландшафтов кислого класса количество алюминия, мигрирующего в коллоидной форме, составляет 70–75% (табл. 39). Не столь резкая разница в содержании этих форм по сравнению с водами ландшафтов кислого глеевого класса свидетельствует, возможно, о частичной миграции этого элемента в виде минеральных коллоидов.

Величина коэффициента диализа равна $2,17 \cdot 10^{-4}$, равновесие в системе при диализе алюминия в описываемых водах наступает после трех суток (рис. 22).

Из 70% (в среднем) соединений алюминия, не прошедших через мембрану от 16 до 29% (от общего количества) (табл. 39), образует более прочные соединения с алюминоном, чем природные комплексы. В пр. 0705, 0703 и 0753 такие соединения алюминия и обнаружены, т.е. весь алюминий, не прошедший через мембрану, не прореагировал с алюминоном. Возможно это минеральные коллоиды.

В грунтово-трещинных опалесцирующих водах 75–85% от общего количества алюминия мигрирует в коллоидной форме (табл. 39). Осенью (пр. 0860) количество этих форм сокращается до 50% соответственно уменьшению содержания органического вещества. В грунтово-трещинных водах (пр. 0763, табл. 39) верхней части склона количество коллоидных форм алюминия составляет около 50% и является следствием иных, по сравнению с предыдущими ландшафтно-геохимических условий.

В трещинных водах (пр. 0700, 0760) практически весь алюминий мигрирует в истинно растворенной форме.

Коэффициент диализа алюминия для вод с более высоким содержанием коллоидных форм составляет $2,9-6,0 \cdot 10^{-4}$ мг/см² · сутки, а с меньшим — $8,7 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-4}$ мг/см² · сутки, т.е. диализ соединений алюминия протекает с большей скоростью, чем для соединений железа.

Равновесие в системе при диализе алюминия в грунтово-трещинных, опалесцирующих водах наступает по истечении трех суток (рис. 22). В грунтово-трещинных и почвенно-грунтовых водах среди установленных диализом коллоидных форм имеются комплексы (15–20% от общего количества) (табл. 39), вероятно, органо-минеральные, обладающие меньшей устойчивостью по сравнению с алюмининовыми. В водах с более низким содержанием органического вещества (пр. 0763) таковые отсутствуют. Возможно алюминий, не прошедший через мембрану, в этих водах мигрирует преимущественно в виде минеральных коллоидов.

Органическими растворителями комплексные соединения алюминия экстрагируются гораздо хуже, чем соединения железа, что указывает на неустойчивость органо-минеральных соединений, разрушающихся в процессе экстракции. Анализ органических экстрактов и эмульсий из природных вод показал, что от 70 до 95% алюминия остается в воде после экстракции, независимо от того, каким классам ландшафтов принадлежит вода (табл. 40). Это связано с одинаковой природой и устойчивостью этих соединений.

Извлеченные (максимально около 30%) органическими растворителями соединения алюминия в основном концентрируются в эмульсиях (табл. 40), а не в прозрачных органических экстрактах. Из трещинных вод (пр. 0700–0960) органо-минеральные соединения алюминия экстракцией не выделены.

Определение знака заряда мигрирующих форм алюминия методом ионного обмена не дало однозначных результатов (табл. 42). Установлено, что в пробах, отобранных в весеннее время, количество катионной формы значительно преобладает и достигает 87% (пр. 0974, 0975, 0954, 0953, 0961, табл. 42). Летом при усилении коагулирующего и пептизирующего действия органических веществ содержание положительной формы снижается до 48% (пр. 1754, табл. 42). Соответственно возрастает роль отрицательно заряженных комплексных соединений, которыми наиболее богаты грунтово-трещинные (частично почвенно-грунтовые) опалесцирующие воды в летний период (пр. 1761, 1755, 1740, 1742, табл. 42). Но в целом в миграции алюминия преобладают положительно заряженные формы, что не наблюдается для железа. Это свидетельствует о наличии в органо-минеральных соединениях алюминия обменной, катионной формы.

На электрофореграммах проб 1774 и 1775 не выявились отрицательно заряженные формы алюминия. Возможно, это связано с маскировкой розовой окраски комплекса алюминия с альбирином коричневой окраской органических веществ, заряженных отрицательно. Розовая окраска хорошо проявилась в направлении к отрицательному полюсу.

Таблица 42

Соотношение положительно и отрицательно заряженных форм миграции алюминия*

Проба	Содержание Al, мг/л				
	исходная проба	после катионита	после анионита	% ⁺	% ⁻
0954	0,341	0,058	—	83	17
0975	0,365	0,047	—	87	13
0974	0,225	0,045	—	81	19
1754	0,300	0,17	< 0,02	48	52
1775	0,360	0,14	0,02	61	39
1774	0,190	0,044	0,02	77	23
15	0,180	0,070	< 0,02	61	39
0953	0,120	0,044	0,078	65	35
1753	0,105	0,035	—	57	43
1758	0,124	0,044	0,076	62	38
0961	0,223	0,06	—	70	30
0761	0,430	0,300	≤ 0,015	30	70
1755	0,70	0,74	≤ 0,015	—	100
1740	0,56	0,46	0,07	18	82
1742	0,30	0,30	≤ 0,015	—	100

* Количество положительно и отрицательно заряженных форм рассчитано по результатам пропускания вод через катионит.

Кремний. Основной формой миграции кремния в водах ландшафтов кислого глеевого класса являются истинно растворенные моно- и димерные кремневые кислоты, т.е. те формы кремния, которые реагируют с раствором молибдата аммония в течение десяти минут, образуя кремнемолибденовую кислоту (Morrison, Wilson, 1963). На преобладание в водных растворах наионизированной (до pH < 9) истинно растворенной монокремневой кислоты указано в работах ряда авторов (Краускопф, 1963, Гинсбург, Кобанова, 1960). Но некоторое количество ее может находиться в виде полимерных форм и коллоидных частиц, которые в разбавленных растворах сохраняются в течение нескольких дней (Краускопф, 1963). Кроме того, наличие коллоидного кремнезема связано со стабилизирующим действием гумусовых кислот (Богоявленский, 1966).

Недавно проведенные исследования растворов кремнезема (Рыженко, Хитаров, 1968) позволили установить, что гидроокись кремния $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ существует в равновесии с агрегированными молекулярными формами. В разбавленных растворах наиболее вероятна миграция кремния в виде H_4SiO_4 .

В табл. 43 показано соотношение истинно растворенных и коллоидных форм миграции кремния, установленное диализом. В пробах 0710, 07040, 0754, наиболее обогащенных органическими веществами, обнаружено повышенное содержание коллоидных форм.

Таблица 43

Соотношение истинно растворенных и коллоидных форм миграции кремния в ультрапресных водах северо-таежных мерзлотных ландшафтов

Проба	Содержание H_2SiO_3 , мг/л			
	Исходная проба	Истинно растворенные формы (диализат)	Коллоидные формы (не прошедшие через мембрану)	Коллоидная форма, %
<i>Ландшафты кислого глеевого класса</i>				
0709	6,05	5,50	0,55	9
0708	5,60	5,25	0,35	6
0710	9,06	4,85	4,21	47
0706	10,40	10,00	0,40	4
0704	7,44	5,25	2,19	30
0754	8,30	6,95	1,35	16
<i>Ландшафты кислого и кислого глеевого класса</i>				
0701	12,50	12,10	0,40	Не обн.
0761	12,10	10,50	1,60	13
0861	12,50	11,70	0,80	6
0961	11,70	11,50	0,20	Не обн.
<i>Ландшафты кислого класса</i>				
0757	6,38	6,35	—	—
0705	14,60	13,75	0,85	6,0
0758	11,63	10,40	1,23	10,0
0703	10,70	10,30	0,40	4,0
0753	16,05	12,50	3,55	22,0
0953	16,20	12,80	3,40	21,0
0700	16,62	12,95	3,67	22
0760	22,00	19,30	2,70	12
0702	17,00	12,00	5,00	29

В грунтово-трещинных и речных водах ландшафтов кислого класса 90 и более процентов кремния мигрирует в истинно растворенном состоянии. Некоторое количество коллоидного кремнезема (около 20%) обнаружено в речных водах весной и летом в период дождей (пр. 0953, 0753, табл. 43).

В грунтово-трещинных опалесцирующих водах (пр. 0701—0961) кремний мигрирует в основном в истинно растворенном состоянии, т.е. опалесценция этих вод не связана с наличием коллоидных соединений кремния. В трещинных (пр. 0700) водах обнаружено 22—29% этих соединений.

Величины коэффициентов диализа соединений кремния для всех вод очень близки, в среднем составляют $2 \cdot 10^{-3}$ мг/см² · сутки, т.е. на порядок выше, чем для алюминия и не зависят от разной степени обогащенности вод органическими веществами. Равновесие в системе при диализе соединений кремния наступает на четвертые сутки (рис. 22).

Можно сделать следующее заключение по формам миграции кремния в водах ландшафтов кислого глеевого класса. Из общего количества соединений кремния (гр. 3 табл. 44) часть (30–60% гр. 2–5) связана в полимеры, ассоциаты, не реагирующие при обычных условиях с молибдатом аммония с образованием желтого кремний-молибденового комплекса. Образованию этих ассоциатов, по-видимому, способствуют органические вещества, выполняющие защитную и комплексообразующую функцию. По данным диализа, часть этих соединений имеет коллоидную природу (табл. 44, гр. 6–7). Причем эта часть заметно возрастает при увеличении содержания органических веществ (пр. 0710). Другая часть мигрирует в истинно растворенной форме (гр. 8–9). Для большинства проб в истинно растворенной форме преобладают неассоциированные соединения кремния (12–13), легко реагирующие с молибденом аммония.

В водах ландшафтов кислого класса из общего количества соединений кремния (гр. 3, табл. 44) от 5,8 до 27% связана в полимеры (агрегаты), ассоциаты, не реагирующие при обычных условиях с молибдатом аммония с образованием кремнемолибденового комплекса. Количество этих соединений значительно меньше, чем в водах ландшафтов кислого глеевого класса, хотя общее содержание кремния здесь в 1,5–2 раза выше. Это, возможно, связано со значительно более низкими концентрациями органических веществ.

По данным диализа в пр. 0705, 0758, 0753 (табл. 44), именно это количество соединений кремния имеет коллоидную природу (гр. 6). В пр. 0703 и 0953 очень небольшая часть полимерных (агрегированных) соединений (9 и 6%) мигрирует в виде ассоциатов полимеров с небольшим размером частиц. Эти соединения проходят через мембрану, но не реагируют с молибдатом аммония.

Таким образом, в рассматриваемых водах кремний, не прореагировавший с молибдатом аммония, связан в прочные коллоидные соединения (возможно минеральные), количество которых колеблется в пределах 6–20%. Большая же часть соединений кремния мигрирует в истинно растворенных формах, легко реагирующих с молибдатом при обычных условиях, что несколько отличает эти воды от вод ландшафта кислого глеевого класса. Органические вещества способствуют образованию ассоциированных соединений (полимеров) кремния. Часть из них в водах с высоким содержанием органических веществ имеет коллоидную природу, другая – истинно растворенную. При низком содержании органических веществ все непрореагировавшие с молибдатом аммония соединения, по-видимому, мигрируют в форме минеральных коллоидов.

В органических экстрактах и эмульсиях кремний был обнаружен в количествах, близких к пределу чувствительности анализа, весь кремний остается в воде после экстракции (см. табл. 40). Это свидетельствует о недостаточной стойкости природных органических соединений кремния, а также, возможно, что органические вещества в данном случае выполняют лишь защитную функцию.

Кальций и магний. Эти элементы, как известно из работ почвоведов (Александрова, 1962, Кононова, 1963 и др.), образуют с гумусовыми кислотами гуматы и фульваты. Взаимодействие гуминовых кислот с со-

Таблица 44

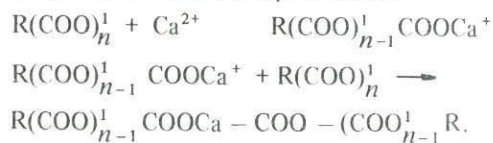
Формы миграции кремния в ультрапресных водах тасжно-мерзлотных ландшафтов

Проба	Содержание H_2SiO_3 в исходной пробе, мг/л*		Кремневые кислоты, не прореагировавшие с молибдатом аммония (истинно растворенные + коллоидные)		Коллоидные формы (проба после диализа)	
	I	II	мг/л	%	мг/л	%
	1	2	3	4	5	6
0709	3,54	6,05	2,51	41,5	0,55	9
0708	3,95	5,60	1,65	29,4	0,35	6
0710	3,49	9,06	5,57	61,5	4,21	47
0706	3,92	10,40	6,48	62,3	0,40	4
0704	4,40	7,44	3,04	41,0	2,19	30
0754	5,50	8,30	2,80	33,8	1,35	16
0705	13,75	14,60	0,85	5,8	0,85	6
0758	10,60	11,63	1,03	8,8	1,23	10
0703	9,30	10,70	1,40	13,0	0,40	4
0753	12,50	16,05	3,55	22,0	3,55	22
0953	11,80	16,20	4,40	27,2	3,40	21
0763	9,07	13,00	3,93	30,0	3,85	29
0762	8,50	12,50	4,00	32,0	4,15	33
0701	4,40	12,50	8,10	65,0	0,40	3
0761	9,50	12,10	2,60	20,0	1,60	13
0961	9,75	11,70	1,95	16,7	0,20	-
0700	14,57	16,62	2,05	12,50	3,67	22
0760	18,85	22,00	3,15	14,50	2,70	12
0702	5,85	17,00	11,15	66,0	5,00	29

*I — без предварительного окисления органических веществ; II — с разрушением ор-

ганических веществ и коллоидов.

лями двухвалентных металлов может быть представлено в виде обменной реакции с образованием комплексов двух и более молекул гуминовых кислот, связанных через катион:



По данным Л.Н. Александровой (1962), хелатообразование с ионами кальция отсутствует. По результатам диализа вод ландшафтов кислого глеевого класса, эти катионы не проходят сквозь полупроницаемую мембрану (табл. 45) — от 90 до 100% кальция и магния остается в воде после диализа. Это не связано и с недостатком времени диализа, так как за это время может пройти через мембрану до 50% истинно растворенных соединений. Кроме того, такого явления в водах других ландшафтов,

Истинно растворенные формы					
Общее содержание истинно растворенных форм (диализат)		Низкомолекулярные ассоциаты, не реагирующие с молибдатом аммония (4-6)		Неассоциированные молекулы (8-10)	
мг/л	%	мг/л	%	мг/л	%
8	9	10	11	12	13
5,50	91	1,91	32,4	3,54	58,5
5,25	94	1,30	23,2	3,95	70,6
4,85	53	1,36	15,0	3,49	38,5
10,00	96	6,08	58,5	3,92	37,7
5,25	70	0,85	11,5	4,40	59,1
6,95	84	1,45	17,5	5,50	66,4
13,75	94	-	-	13,75	94
10,40	90	-	-	8,80	90
10,30	96	1,00	9,0	9,30	87
12,50	78	-	-	12,50	78
12,80	79	1,00	6,0	11,80	73
9,15	71	-	-	9,07	71
8,35	67	-	-	8,35	67
12,10	97	7,70	62	4,40	35
10,50	87	1,00	8	9,50	79
11,50	100	1,75	16	9,75	84
12,95	78	-	-	-	-
19,30	88	0,45	2	18,85	86
17,00	71	6,15	36	5,85	34

ганических веществ и коллоидов.

как будет показано ниже, не наблюдается. Следовательно, на миграцию этих элементов в ультрапресных водах ландшафтов кислого глеевого класса также оказывают влияние органические вещества, образуя полимолекулы гуматов и фульватов или выполняя защитную функцию.

В водах ландшафтов кислого и переходного ($H^+ - Ca^{++}$) классов 20-30% этих элементов не проходят при диализе через полупроницаемую мембрану, т.е., возможно, мигрируют в виде коллоидных соединений (табл. 46). Коэффициент диализа для кальция и магния равен $1 \cdot 10^{-3}$, время, необходимое для диализа этих элементов, должно составлять не менее трех суток.

Натрий, калий, сульфат-хлор-ионы. Натрий, калий, сульфат-ион и хлор-ион во всех водах мигрируют в истинно растворенных формах (табл. 46). В водах возможна миграция натрия и калия в виде гуматов и фульватов, но по данным исследования почвоведов (Александрова,

Таблица 45

Соотношение коллоидных и истинно растворенных форм миграции кальция и магния в водах мерзлотно-таежных ландшафтов

Проба	Кальций, мг/л			
	Исходная проба	Истинно растворенные формы (диализат)	Коллоидные формы	Коллоидная форма, %
0777	0,40	Не обн.	0,40	100
0776	0,40	"	0,40	100
0775	0,40	"	0,40	100
0774	0,40	"	0,40	100
0758	2,20	1,80	0,40	18
0753	1,40	1,00	0,40	28
0953	0,96	0,64	0,32	33
0861	2,40	0,80	1,60	67
0751	25,65	17,97	7,68	30
0750	26,45	22,93	3,52	13

Примечание. Анализы выполнены И.Б. Никитиной, А.П. Царевой, В.И. Павлуцкой, Е.М. Нактина

Таблица 45 (окончание)

Проба	Магний, мг/л			
	Исходная проба	Истинно растворенные формы (диализат)	Коллоидные формы	Коллоидная форма, %
0777	0,49	Не обн.	0,49	100
0776	0,85	"	0,85	100
0775	0,97	"	0,97	100
0774	0,67	"	0,67	100
0758	0,73	0,61	0,12	17
0753	1,09	0,76	0,33	30
0953	1,05	0,72	0,33	30
0861	7,17	5,35	1,82	25
0751	14,35	9,61	4,74	33
0750	14,35	12,64	1,71	12

1962, Возбуозская, 1964, Тюлин, 1958), соли щелочных металлов с гумусовыми кислотами высокодисперсны и подвижны.

Микрокомпоненты. Ввиду чрезвычайно малого содержания в водах таких элементов как медь, цинк, свинец, хром, никель, кобальт и др. (n^- — 0,0 п мкг/л, см. табл. 23) и трудоемкости метода диализа формы миграции их исследованы менее детально. Установлено, что содержание меди и цинка при разрушении органических веществ окислением увеличивается в 2–5 раз (табл. 47). Для установления форм нахождения

Таблица 46

Формы миграции натрия, калия, сульфата, хлора в ультрапресных водах мерзлотно-таежных ландшафтов, мг/л

Проба	Na ⁺		K ⁺		SO ₄ ²⁻		Cl ⁻	
	I	II	I	II	I	II	I	II
0709	0,54	0,50	0,14	0,11	—	—	1,08	1,03
0777	0,46	0,38	0,07	0,07	0,20	0,24	≤ 0,02	≤ 0,02
0708	0,54	0,45	0,07	0,07	—	—	1,34	1,21
0776	0,68	0,45	0,08	0,06	0,70	0,60	0,50	0,59
0710	0,54	0,48	0,12	0,10	—	—	1,85	1,47
0775	0,60	0,53	0,08	0,05	0,50	0,60	0,02	0,02
0706	1,11	—	0,36	—	—	—	1,34	1,21
0774	0,21	0,17	0,05	0,07	0,50	0,59	0,02	0,02
0705	1,12	1,25	0,21	0,23	—	—	0,96	0,96
0758	1,52	1,72	0,08	0,12	1,00	1,18	Не обн.	Не обн.
0703	1,37	1,32	0,23	0,23	—	—	0,83	0,83
0753	1,43	1,33	0,13	0,12	0,60	0,59	Не обн.	Не обн.
0953	1,17	1,00	0,31	0,29	Не обн.	Не обн.	0,11	0,10
0757	0,10	0,13	0,04	0,05	0,30	0,24	Не обн.	Не обн.
0701	0,66	0,72	0,72	0,75	—	—	1,85	1,72
0761	0,98	0,96	0,72	0,55	6,00	5,90	Не обн.	Не обн.
0861	1,01	1,07	1,00	0,79	—	—	0,61	0,64
0700	2,08	2,26	1,23	1,15	—	—	1,08	0,96
0760	1,97	1,70	1,20	1,00	7,00	7,08	0,20	0,24
0702	1,37	1,50	0,52	0,76	—	—	1,21	1,08
0713	0,45	0,63	0,24	0,24	—	—	1,60	1,34
0714	0,45	0,60	0,41	0,48	—	—	1,60	1,60
0751	0,04	0,05	0,29	0,37	1,40	1,18	Не обн.	Не обн.
0750	0,13	0,23	0,24	0,26	1,40	1,40	"	"

Примечание: I — исходная проба; II — истинно растворенные формы (диализат). Определения натрия и калия выполнены Л.М. Крутецкой (ЦХЛ ИГЕМ АН СССР) методом фотометрии пламени.

микрокомпонентов было продиализировано 25 л природной воды ручья Рыжего (пр. 0774) в 4,5 л бидистиллята. Время диализа — четверо суток. Микрокомпонентный состав диализата и исходной пробы после отстаивания ее в течение этого же времени приведен в табл. 48.

Сопоставляя содержание компонентов в пробе и диализате, видим, что большинство из них не проходят полностью через полупроницаемую перегородку, т.е. мигрируют не в виде простых ионов, а либо в коллоидной форме, либо в форме комплексных ионов с большим радиусом, образующихся при участии высокомолекулярных органических веществ. Лучше проследить это на элементах, содержание которых в воде и диализате превышает предел чувствительности анализа¹: титан, марганец, фос-

¹Отмечаются также близкие к спектральным данным результаты химического анализа пр. 0774: фосфора — 5,2 мкг/л, меди — 2 мкг/л, цинка 0,5 мкг/л, свинца < 0,5 мкг/л, молибдена ≤ 0,5 мкг/л, марганца — 10 мкг/л.

Таблица 47

Результаты определения концентраций меди и цинка в ультрапресных водах без разрушения органических веществ (I) и с разрушением (II), мкг/л

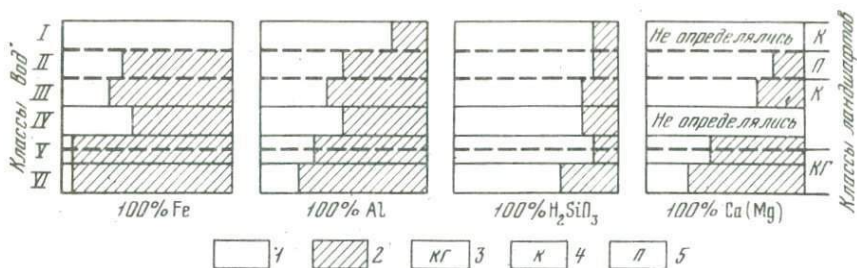
Проба	Медь		Цинк		Проба	Медь		Цинк	
	I	II	I	II		I	II	I	II
<i>Ландшафты кислого глеевого класса</i>									
0709	0,5	1,5	0,4	2,0	0553	1,0	2,5	1,0	3,0
0777	1,0	2,0	2,0	10	0706	0,8	2,5	0,5	2,0
0552	0,7	1,5	1,0	3,0	0774	0,5	2,0	0,5	2,0
0708	0,5	1,0	0,6	6,0	1774	1,0	2,5	1,0	2,0
0776	0,5	2,0	2,0	8,0	0704	1,0	3,0	1,0	3,0
0710	1,0	2,0	2,0	4,0	0762*	7,0	13,0	3,0	10,0
0775	0,5	1,0	1,0	5,0	1762*	10,0	20,0	5,0	10,0
1775	1,5	3,0	2,0	7,0					
<i>Ландшафты кислого класса</i>									
0763*	5,0	12,0	9,0	12,0	0760	—	≤ 1,0	7,0	8,0
0863*	5,0	7,0	6,0	10,0	0860	—	≤ 1,0	4,0	5,0
0761*	2,0	17,0	5,0	8,0	1760	1,0	1,0	3,0	3,0
0861*	4,0	12,0	2,0	8,0	1771*	5,0	10,0	4,0	5,0
1761*	5,0	10,0	3,0	6,0	1770*	10,0	15,0	7,5	10,0
1766*	10,0	15,0	10,0	12,0	1763*	7,5	17,0	6,0	9,0
1769*	5,0	8,0	5,0	8,0	1772*	15,0	20,0	5,0	7,5
1767*	10,0	15,0	7,5	10,0					

* Пробы отобраны на железорудном месторождении с сульфидной и боратовой минерализацией. Водоупункты: 0762, 1762 — почвенно-грунтовая вода в моховом углублении; 0763, 0863, 1763 — источник почвенно-грунтовых вод под Силлиманитовой Горкой.

1766 — карьер флогопитовый; 1769 — выход грунтово-почвенных вод, 200 м ниже карьера; 1767 — источник грунтово-почвенных вод, 700 м ниже карьера; 1771 — источник почвенно-грунтовых (частично грунтово-трещинных) вод под Турмалиновой Горкой; 1770 — выход грунтово-почвенных вод в 100 м ниже флогопитового карьера; 1772 — источник почвенно-грунтовых (частично грунтово-трещинных) вод в канаве у моста под Силлиманитовой Горкой.

фор, марганец, барий, стронций, хром, ванадий, медь, никель, цинк, иттрий, лантан.

Для этих элементов процент коллоидной, высокомолекулярной формы составляет от 47 до 97%. Максимальное содержание этих форм наблюдается для марганца, ванадия, титана, стронция, бария, иттрия. Максимальное содержание ионных низкомолекулярных форм характерно для никеля, хрома, меди, цинка. Возможно, что эти элементы частично мигрируют в соединении с низкомолекулярным органическим веществом (Еременко, 1966). Часть элементов обнаружена в диализате в количествах, близких к пределу чувствительности анализа, хотя в пробе их содержания на 0,5–1 порядок выше предела чувствительности: свинец, молибден, серебро.



Р и с. 23. Соотношение коллоидных и истинно растворенных форм миграции компонентов в ультрапресных водах мерзлотно-таежных ландшафтов Алданского нагорья

1 – истинно растворенные формы; 2 – коллоидные формы; ландшафты: КГ – кислого глеевого класса (3); К – кислого класса (4); П – переходного (H^+ – Ca^{++}) класса

В целом для микрокомпонентов преобладает коллоидная форма миграции, либо форма комплексов с большим радиусом образующихся при участии высокомолекулярных органических веществ.

Содержание микрокомпонентов в водах ландшафта кислого класса чрезвычайно мало. Химическим анализом (дитизионовым, диэтилдитиокарбонатным, роданидным методами) такие элементы, как цинк, медь, свинец, молибден, либо не были обнаружены, либо – в количествах, близких к пределу чувствительности анализа (табл. 48). При таких ничтожно малых концентрациях и существующих методах анализа изучение форм миграции очень усложняется.

Для ориентировочной оценки соотношения форм миграции микрокомпонентов мы поставили диализ на четверо суток при соотношении диализируемой воды и бидистиллята 25 : 4,5 (л) на постоянном режиме-ном водопункте (0554–0953) (верхнее течение р. Б. Леглиер).

Сопоставление спектрального полуколичественного анализа исходных проб воды и диализатов (табл. 48) показывает, что в миграции микрокомпонентов преобладает коллоидная форма. Некоторые элементы (лантан, стронций, барий, цинк, медь, молибден, фосфор) в количестве 20–40% могут мигрировать в форме соединений ионов с небольшим радиусом.

Несколько более подробно изучались формы миграции меди. Как было показано в табл. 48, содержание этого элемента значительно увеличивается после разрушения органических веществ надсернистым аммонием кипячением в сернокислой среде. Предварительное экстрагирование органических веществ растворителями с целью избавления от мешающего влияния при химическом анализе приводит к потере 20–50% меди (табл. 49).

Результаты изучения форм миграции меди в грунтовой трещинной опалесцирующей воде (мкг/л).

1. Суммарная концентрация в пробе	–20
2. В пробе после экстракции	– 6
3. В этой же пробе, подкисленной на месте, длительно отстаивающейся и освобожденной (частично) экстракцией от органических веществ	–14
4. Суммарная концентрация в диализате	– 3

Таблица 48

Соотношение коллоидных и истинно растворенных форм миграции микроэлементов в

Классы ландшафтов		Кислый глеевый							
Генетический тип вод		Открытый водоток (руч. Рыжий, пр. 0774)			Почвенно-грунтовая вода (пр. 0762)				
Элементы	Чувствительность анализа	Общее содержание		Истинно растворенная форма (диализат)		Общее содержание		Истинно растворенная форма (диализат)	
		мкг/л	мкг/л	%	%	мкг/л	мкг/л	%	%
Ti	$1 \cdot 10^{-1}$	8,7	0,69	18	92	10,7	1,1	10	
Mn	$2 \cdot 10^{-2}$	7,6	0,20	2,6	97	5,4	0,40	8	
P	$5 \cdot 10^{-1}$	8,7	1,6	19	81	14,2	1,1	8	
Ba	$1 \cdot 10^{-1}$	5,5	0,69	13	87	17,8	0,90	5	
Sr	$1 \cdot 10^{-1}$	6,5	0,69	10	90	8,9	0,90	11	
Cr	$2 \cdot 10^{-2}$	1,1	0,46	42	58	5,4	0,66	12	
V	$2 \cdot 10^{-2}$	1,1	0,07	7	93	0,36	0,02	—	
Cu	$2 \cdot 10^{-2}$	1,1	0,46	40	60	7,1	0,15	2	
Ni	$2 \cdot 10^{-2}$	0,87	0,46	53	47	3,6	0,40	10	
Zn	$1 \cdot 10^{-1}$	0,54	0,14	26	74	17,8	0,1	—	
Y	$1 \cdot 10^{-1}$	0,65	—	—	100	0,54	0,1	—	
La	$1 \cdot 10^{-1}$	0,33	0,11	38	67	0,89	0,11	12	
Pb	$1 \cdot 10^{-1}$	0,33	0,07	20	80	0,53	0,1	20	

5. В диализате без предварительного разрушения органического вещества 2,5
6. В диализате после предварительной экстракции органических веществ четыреххлористым углеродом 1
7. В диализате после подкисления и экстракции 1,2

Из сопоставления результатов 1,4 и 5 видно, что 85% меди связано с коллоидными высокомолекулярными органическими веществами. Медь, прошедшая через полупроницаемую мембрану, в основном связана с низкомолекулярными органическими веществами, экстрагирующимися четыреххлористым углеродом (оп. 5 и 6). Природные комплексы и коллоиды частично разрушаются в кислой среде (оп. 3, по сравнению с оп. 2, и оп. 7, по сравнению с оп. 6). Таким образом, о суммарной концентрации меди можно судить лишь после полного разрушения органических веществ и коллоидов (органических и минеральных).

Итак, из всех типоморфных элементов железо обладает большей склонностью к миграции в высокомолекулярной, коллоидной формах (рис. 23). Эти соединения в основном концентрируются при экстракции органическими растворителями на границе раздела фаз в виде эмульсий (пленок) и несут отрицательный заряд.

водах ландшафтов кислого глеевого и кислого классов

		Кислый							
		Открытый водоток (руч. Леглиер, пр. 0753)			Грунтово-трещинная вода (пр. 0761)				
Коллоидная форма	%	Общее содержание мкг/л	Истинно растворенная форма (диализат)		Коллоидная форма %	Общее содержание мкг/л	Истинно растворенная форма (диализат)		Коллоидная форма %
			мкг/л	%			мкг/л	%	
90		7,6	1,1	14	86	41	0,23	6	94
92		3,0	0,53	18	82	8,2	0,11	13	87
92		10,6	2,6	25	75	24,6	4,50	19	81
9,5		6,0	1,6	27	73	16,4	1,15	30	70
89		12,1	3,7	30	70	20,5	3,0	15	85
88		15,0	0,50	4	96	8,2	0,20	3	97
100		0,45	0,11	25	75	1,6	0,02	—	100
98		1,2	0,50	41	59	13,6	0,19	—	100
90		0,60	0,03	5	95	12,3	0,40	3	97
100		0,76	0,21	27	73	2,1	0,1	—	100
100		—	—	—	—	1,2	0,19	15	85
88		0,45	0,26	58	42	1,2	0,19	15	85
80		0,15	0,10	—	100	0,24	0,1	—	100

Количество алюминия, мигрирующего в этих формах, несколько ниже, чем железа (рис. 23). Органо-минеральные соединения алюминия обладают, по-видимому, меньшей устойчивостью: они не экстрагируются хлороформом и изобутиловым спиртом; почти весь алюминий остается в воде после экстракции.

Количество органических веществ в водах определяет также формы миграции Ca, Mg: чем выше содержание $S_{орг.}$ в водах, тем больший процент этих элементов мигрирует в коллоидных формах.

Таблица 49

Результаты определения меди в грунтовых водах без разрушения органических веществ (I), с разрушением органических веществ (II) и после экстракции (III) (мкг/л)

Проба	1763	1771	1770	1772	1762	1767	1769	1766
I	7,5	5	10	15	10	10	5	10
II	17	10	15	20	20	15	8	15
III	5	3	3	10	5	5	2	5

Основной формой миграции кремния в исследуемых водах являются истинно растворенные моно- и димерные кремневые кислоты (рис. 23). Некоторое количество кремневой кислоты может находиться в воде коллоидов (10–20%), а в водах с высоким содержанием органических веществ количество коллоидных форм возрастает до 40%, что, по-видимому, связано со стабилизирующим действием гумусовых кислот (Богоявленский, 1966). Соединения кремния не экстрагируются органическими растворителями. Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} также мигрируют в истинно растворенной форме во всех водах.

Большинство микрокомпонентов (Ti, Mn, P, Ba, Sr, Cr, V, Cu, Ni, Zn, Y, La) вод ландшафтов кислого глеевого и кислого классов мигрирует не в виде простых ионов, а либо в коллоидной форме, либо в форме комплексных ионов с большим радиусом, образующихся при участии высокомолекулярных органических веществ. По данным диализа, эти формы составляют 47–90% общего содержания микрокомпонентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДАМ ПОИСКОВ В ТАЕЖНО—МЕРЗЛОТНЫХ ЛАНДШАФТАХ

Основной вывод работ по гидрохимическим методам поисков в районах распространения многолетней мерзлоты состоит в том, что мерзлота не является препятствием для применения этого метода, хотя и ограничивает его глубинность (Бойль, 1958; Тузова, 1961; Косолапов, Косолапова, 1962, Кожара, 1953; Чибисов, 1966; Макаров, 1966, Иванова и др., 1974 и др.). Этот вывод базируется на интенсивной миграции химических элементов в толще мерзлых пород и образований водных ореолов рассеяния. При островном распространении мерзлоты немаловажная роль принадлежит тектоническим нарушениям в формировании мерзлотно-гидрогеологических условий (Чижов и др., 1964; Всеволожская, 1966; Макаров, Чибисов, 1973 и др.). Часто неотектонические нарушения приурочены к рудным телам гидротермального типа. Источники подмерзлотных вод разгружаются по зонам нарушений в русле мелких водотоков. Происходящие при этом изменения в химическом составе вод вследствие их малой минерализации и низких фоновых содержаний разных компонентов легко обнаруживаются.

Проведению гидрохимических поисков на описываемой территории способствует расчлененность рельефа и большое количество объектов опробования.

Наши исследования подтверждают достаточно детальное отражение литохимической обстановки ультрапресными водами как по микро-, так и по макрокомпонентам.

Практические рекомендации сводятся к следующим.

1. Необходимо учитывать ландшафтно-геохимическую обстановку, к которой приурочены источники питания водотоков и те типовые признаки, которые характерны для вод различных классов геохимических ландшафтов.

Прежде всего следует обратить внимание на различную полноту связи природных растворов с почвой, и как следствие, на различную насыщенность органическими веществами и газами. В почвенных водах и поверхностных водотоках наибольшее разнообразие подвижных форм. Эти воды мобилизуют и фактически выносят все химические элементы почвы и коры выветривания и выглядят "аномальными" на фоне глубинных вод. В последних могут изменяться как абсолютные концентрации микроэлементов, так и относительные.

Абсолютные концентрации сокращаются вследствие обеднения раствора биогенно-воздушными мигрантами и подвижными органо-минеральными формами, а для ряда элементов сокращение подвижности связано с осаждением их соединений на окислительном барьере; относительные — вследствие возросшей концентрации основных компонентов минерализации. Особенно сильно сказывается маскирующее влияние карбонатов. Анализируя те и другие воды методами одной и той же чувствительности, мы можем обнаружить в водах с низкими значениями ОМК, но идентичных по литохимическим условиям, такие элементы, как Mn, Ti, Cu, Zn, Pb, B, Co, Cr.

Проведенные нами исследования на железорудном месторождении с сульфидной минерализацией и золотосульфидном показали, что повышенные содержания меди и цинка в ультрапресных водах таежно-мерзлотных ландшафтов Алданского нагорья не всегда могут быть поисковыми признаками на оруденение. Это особенно показательно для цинка, концентрации которого от 3 до 7 мкг/л фиксируются как на безрудных, так и на рудных участках. Поэтому в качестве поискового гидрогеохимического признака мы предлагаем использовать не только абсолютные концентрации рудных элементов (с учетом их различий в зависимости от класса ландшафтов), но и величину отношения $Me/C_{орг}$.

По нашим данным, для вод, не связанных с месторождениями, максимальное значение $Zn/C_{орг}$ — отношения для ландшафтов кислого класса составляет $1,5 \cdot 10^{-3}$, а для ландшафтов кислого глеевого класса — $5 \cdot 10^{-4}$ значения этого показателя выше указанных, что характерно для ультрапресных вод рудных площадей.

По имеющимся ограниченными данным, для меди этот показатель не имеет существенного значения, в связи с чем поисковым признаком могут служить абсолютные концентрации меди в водах.

2. Особое внимание следует уделять опробованию опалесцирующих вод (V класс), которые, как было показано, содержат большие количества микрокомпонентов по сравнению с неопалесцирующими, отобранными в одной и той же литохимической обстановке.

3. Определяя цветность вод по платиново-кобальтовой шкале непосредственно у водопункта, можно учитывать степень насыщенности вод органическими веществами, приближенное содержание органических веществ.

При гидрогеохимических исследованиях необходимо определять качественный состав водорастворимых органических веществ, разделять гуминовые и фульвокислоты, так как в зависимости от их содержания микрокомпоненты ведут себя по-разному.

4. Гидрогеохимические поиски в описываемом районе желательны проводить в июле-августе. К этому времени увеличивается глубина деятельного слоя и циркулирующая вода, а также улучшается доступность района работ.

Полученные данные по миграции рудных элементов на участках месторождений позволяют рекомендовать в качестве поисковых гидрогеохимических критериев следующие: 1) повышенное значение рН (> 7) указывает на наличие карбонатных пород всех генетических типов, с которыми,

как известно, связаны месторождения флогопита, тантала и ниобия; 2) повышенные содержания HCO_3^- являются показателем общей минерализации воды и карбонатности пород; 3) повышенные содержания SO_4^{2-} -иона в исследуемом районе появляются главным образом под влиянием окисляющихся сульфидов; 4) наличие Mo является прямым поисковым признаком на собственные руды и косвенным — на руды многих цветных и редких металлов.

5. Повышенные содержания Cu и Zn являются поисковыми признаками на ряд месторождений цветных и редких металлов (Cu- и золото-сульфидных). 6. F — поисковый признак на флогопитовые и флюоритовые месторождения. 7. В — поисковый признак на собственные руды (Кожара, 1964).

Требования, предъявляемые к отбору и анализу ультрапресных вод:

а) пробы необходимо отбирать в полиэтиленовую посуду, предварительно вымытую хромовой смесью, соляной кислотой и водой. При отсутствии полиэтилена — в стеклянную посуду белого стекла с полиэтиленовыми пробками. Для определения органических веществ — только в стеклянную посуду;

б) поскольку объем воды на сухой остаток зависит от минерализации, то его необходимо отбирать с таким расчетом, чтобы количество сухого остатка было не меньше 30–50 мг — количество, которое необходимо для полуколичественного спектрального анализа; объем воды на химические определения зависит от намечаемого их количества с учетом параллельных определений (Резников, Соколов и др., 1963);

в) определение содержания ряда компонентов следует производить непосредственно у источника: pH, Eh, CO_2 , O_2 , H_2S , Fe^{2+} , Fe^{3+} . Для остальных определений необходимо, чтобы срок между опробованием и анализом не превышал один месяц (при условии хранения проб на холоде);

г) для идентификации валового состава сухих остатков их необходимо прокалывать в течение часа при $t = 450\text{--}500^\circ\text{C}$ для удаления органических веществ;

д) при химическом анализе необходимо учитывать сложность форм миграции элементов, критически подходить к рекомендуемым в руководствах методикам. Иначе возможно "недоопределение" элементов и пропуск аномалии;

е) малые концентрации элементов в ультрапресных водах требуют чувствительных методов и предъявляют к аналитику ряд требований: особая чистота посуды и реактивов, обязательное выполнение "глухих" опытов, тщательная подготовка стандартных и титрованных растворов.

Результаты проведенных исследований могут быть сформулированы в следующих тезисах.

1. Воды северо-таежных мерзлотных ландшафтов, сформированных на силикатных породах, являются ультрапресными (величина минерализации 20–80 мг/л). Главные компоненты минерализации — H_2SiO_3 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- .

Органические вещества составляют 10–75% от общей суммы растворенных веществ. Соотношение органической и минеральной составляю-

щей определяет основные геохимические свойства ультрапресных вод и изменение этих свойств в различных классах ландшафтов.

В качестве классификационных признаков для ультрапресных вод мы предлагаем использовать такие характеристики, как содержание органических веществ, минерализацию и соотношение между ними (органо-минеральный коэффициент), т.е. таксономическое значение органических веществ для этих вод выше ионного состава.

На карбонатных породах формируются ландшафты с более минерализованными водами (величина минерализации 150–250 мг/л). Основные компоненты минерализации: Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- . Относительные количества органических веществ сокращаются до 2–5% от суммы растворенных веществ. По температурному окислительно-восстановительному режиму и качественному составу органических веществ эти воды сходны с ультрапресными, но имеют свои характерные признаки (отсутствие органических кислот и др.).

2. Органические вещества вод ландшафтов кислого глеевого, кислого и переходного ($\text{H}^+ - \text{Ca}^{++}$) классов по качественному составу сходны между собой (близка величина степени окисления, одинаковый состав капиллярно-люминесцирующей доли органических веществ, наличие низкомолекулярных летучих соединений).

Органические вещества сухого остатка вод имеют преимущественно коллоидную высокомолекулярную природу. В составе органических веществ нелетучих соединений большое место принадлежит фульвокислотам (~50%), которые составляют около 80% общего количества кислот и в 5–10 раз преобладают над гуминовыми, что способствует повышению миграционной способности многих элементов.

3. Основным геохимическим фактором, определяющим подвижность и формы миграции элементов, а также pH и содержание углекислоты ультрапресных вод являются органические вещества. Между pH, CO_2 , концентрациями Fe, Al, Zn, Cu и содержанием $\text{C}_{\text{орг}}$ установлена тесная корреляционная связь.

4. Для Fe, Al и микрокомпонентов (Ti, Mn, V, Cu, Ni, Zn и др.) характерна миграция либо в коллоидной форме, либо в форме комплексов с большим радиусом, образующихся при участии высокомолекулярных органических веществ. Количество этих форм сокращается при уменьшении концентрации органических веществ.

Кремний преимущественно мигрирует в истинно растворенном состоянии в виде моно-, ди- и поликремневых кислот. Некоторое количество последних (5–20%), а в отдельных пробах до 40% может находиться в коллоидном состоянии.

Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} мигрируют в виде истинных растворов.

5. Значительный размах фоновых концентраций рудных элементов, обусловленный различными условиями формирования химического состава вод и, как следствие, различной миграционной способностью рудных элементов, вызывает необходимость дифференцировать гидрохимические поиски конкретно к каждому классу мерзлотно-таежных ландшафтов. При этом чтобы не фиксировать безрудные "аномалии", следует принимать во внимание различную полноту связи природных растворов с вер-

ним горизонтом почвы, различную насыщенность вод органическими веществами, величину ОМК.

6. В качестве методических указаний необходимо отметить следующее: для идентификации валового состава сухих остатков перед спектральным анализом их необходимо прокалить, а также учитывать маскирующее влияние основных компонентов минерализации (особенно карбонатов);

чтобы избежать "недоопределения" элементов, обусловленного сложностью форм миграции, следует разрушать органические вещества окислением, а не применять экстракцию органическими растворителями в целях устранения мешающего влияния органических веществ.

ЛИТЕРАТУРА

- Агапов А.И.* Исследования комплексообразования кобальта с органическими соединениями почвы. — "Агрохимия", 1968, № 4.
- Алекин О.А.* Основы гидрохимии. Л., Гидролитиздат, 1953.
- Алекин О.А.* Химический анализ вод суши. Гидрометеиздат, 1954.
- Алекин О.А., Морчиева Н.П.* Стабильность карбонатной системы в природных водах. — Труды III Всесоюзн. гидрологического съезда, т. 10, Гидрометиздат, Л., 1959.
- Алекин О.А., Бражникова Л.В.* Сток растворенных веществ с территории СССР. "Наука", 1964.
- Александрова Л.Н.* Перегнойные вещества и процессы взаимодействия с минеральной частью почвы. Докт. дисс. Ленинградск. с.-х. ин-та, 1953.
- Александрова Л.Н.* Органо-минеральные соединения и органо-минеральные коллоиды в почве. — Докл. советских почвоведов к VII Международному конгрессу (США, 1960). Изд-во АН СССР, 1960.
- Александрова Л.Н.* Современные представления о природе гумусовых веществ и их органо-минеральных производных. В кн.: Проблемы почвоведения. Изд-во АН СССР, 1962.
- Альтовский М.Е., Быкова Е.Л., Кузнецова З.И., Швец В.М.* Органические вещества и микрофлора подземных вод и их значение в процессах нефтегазообразования. Гостоптехиздат, 1962.
- Антипов-Каратаев И.Н., Цюрупа И.Г.* О формах и условиях миграции веществ в почвенном профиле. — "Почвоведение", 1961, № 8.
- Барс Е.А., Коган С.С.* Органическое вещество подземных вод нефтегазоносных областей. "Недра", 1965.
- Беллами Л.* Ифракрасные спектры сложных молекул. ИЛ, 1963.
- Белоусова Н.И.* Альфегумусовое почвообразование (на примере Алданского нагорья). Автореф. канд. дисс. Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева. М., 1974.
- Белякова Е.Е., Резников А.А., Крамаренко Л.Е.* Гидрогеохимический метод поисков рудных месторождений, М., Госгеолтехиздат, 1962.
- Богданова В.И., Лизалек М.А.* Некоторые данные о формах нахождения кремнезема в природных водах. — Труды Сиб. НИИ, геолог., геофиз. и минерал. сырья, вып. 121, Новосибирск, 1971.
- Богданова Л.Л.* О роли химического состава атмосферных осадков в формировании трещинных вод коры выветривания горных сооружений Забайкалья. — В кн.: "Формирование и геохимия подземных вод Сибири и Дальнего Востока". "Наука", 1967.
- Богоявленский А.Н.* Распределение и миграция растворенной кремниевой кислоты в океанах. — В кн.: "Геохимия кремнезема". Изд-во АН СССР, 1966.
- Бойль Р.У.* Геохимические методы поисков рудных месторождений в Юконе. — Информ. сб. ВИТР, № 13, Л., 1958.
- Бондаренко Г.П.* О растворимости галенита в присутствии фульвокислот (экспериментальные исследования). — "Геохимия", 1968, № 5.
- Бондаренко Г.П.* Об устойчивости растворимых комплексных соединений меди с гуминовыми и фульвокислотами в различных средах. — "Геохимия", 1972, № 8.

- Бредихин И.С.* Перспективы освоения Южно-Якутского бассейна. — "Разведка и охрана недр", 1960, № 3.
- Бродовская А.А.* Метод определения органического углерода в высокоминерализованных подземных водах. — "Гидрохимические материалы", 1961, т. 34.
- Бродский А.А.* Основы гидрогеохимического метода поисков сульфидных месторождений. "Недра", 1964.
- Бруевич С.В., Варфоломеева Ф.Я., Скопинцев Б.А.* Суточные колебания гидрохимических факторов в речных водах. — Зап. Гос. гидролог. ин-та, Л., 1933, т. 10.
- Бугельский Ю.Ю.* Гипергенная миграция рудных компонентов в различных климатических районах. — В кн.: "Кора выветривания", вып. 4, 1962.
- Бугельский Ю.Ю.* Эксперименты по электродиализу рудничных вод и диффузии цинка через полупроницаемые перегородки. — В кн.: "Кора выветривания", вып. 7, 1966.
- Бугельский Ю.Ю., Цимлянская Л.С.* О формах миграции никеля в природных водах. — В кн.: "Кора выветривания", вып. 7, 1966.
- Булл Г.* Физическая биохимия. ИЛ, 1949.
- Быкова Е.Л.* Капиллярно-люминисцентный метод качественного анализа органических веществ подземных вод. — В кн.: "Методическое руководство по гидрогеол. для оценки перспектив нефтегазоносности". Гостехиздат, 1961.
- Быкова Е.Л., Никитина И.Б.* Водорастворимое органическое вещество подземных вод и поверхностных вод Южной Якутии. — "Геохимия", 1964, № 12.
- Быкова Е.Л., Никитина И.Б.* Взаимосвязь железа и кремния с органическим веществом в природных водах Южной Якутии. — "Геохимия", 1966, № 10.
- Быкова Е.Л., Бродовская А.А., Дудова М.Я.* Методы исследования органических веществ подземных вод. — "Недра", 1969.
- Быкова Е.Л., Голева Г.А., Декусар З.Б.* Результаты изучения органических веществ в подземных водах Камчатки. — "Геохимия", 1971, № 2.
- Быкова Е.Л., Голева Г.А., Воробьева И.Н.* Распространение и формы миграции меди в подземных водах. — "Геохимия", 1968, № 5.
- Ваксман З.А.* Гумус. М., "Сельхозгиз", 1937.
- Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Сиротинина И.С.* Определение состава растворенных органических веществ речной воды методом адсорбционной хроматографии. — "Геохимия", 1970, № 12.
- Варшал Г.М., Кощеева И.Я., Морозова Р.П.* О возможных формах миграции рутения в поверхностных водах и почвах. — "Геохимия", 1972, № 8.
- Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Сиротинина И.С., Ярцева Р.Д.* Фракционирование, количественное определение и изучение некоторых основных компонентов растворенных органических веществ природных вод. — "Гидрохимические материалы", 1973, т. 59. Новочеркасск.
- Вельмина Н.А., Узембло В.В.* Гидрогеология центральной части Южной Якутии. Изд-во АН СССР, 1959.
- Вернадский В.И.* Очерки геохимии. "Мысль", 1967.
- Виноградов А.П.* Закономерности распределения химических элементов в земной коре. — "Геохимия", 1956, № 1.
- Виноградов А.П.* Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры. — "Геохимия", 1962, № 7.
- Виноградов В.И.* О миграции молибдена в зоне гипергенеза. — "Геохимия", 1957, № 2.
- Вишняков А.П., Рабинович С.А.* Влияние органических кислот почвы на подвижность железа. — Труды ЛОБИУА, 1935, вып. 36.
- Власов Н.А., Павлова Л.И.* Влияние процессов замораживания на состав гидрокарбонатных вод. — Докл. АН СССР, 1969, 185, № 3.
- Возбуцкая А.* Химия почвы. М., "Высшая школа", 1964.
- Ворона И.Д., Сикач Б.А.* Методика поисков месторождений пьезокварца в Алданском районе. — В кн.: "Материалы совещания геологов Восточной Сибири и Дальнего Востока". Чита, 1956.
- Воронков П.П., Соколова О.К.* Гумусовые вещества поверхностных вод Карельского перешейка. — Труды Гос. гидрогеол. ин-та, вып. 25 (79). Л., 1950.

- Воронков П.П., Соколова О.К.* Сезонные изменения состава гумусовых веществ в водах Карельского перешейка. — Труды ГГИ, 1951, вып. 33.
- Вотинцев К.К.* "Химический состав атмосферных осадков". — Докл. АН СССР, 1954, 95, № 5.
- Всеволожская М.А.* Условия формирования химического состава подземных вод Алданского района ЯАССР. — В сб. "Мерзлотные исследования", вып. V. Изд-во МГУ, 1966.
- Всеволожская М.А.* О формировании химического состава подземных вод в коре выветривания изверженных и метаморфизованных пород. — В кн.: "Взаимодействие поверхностного и подземного стока", вып. 1. Изд-во МГУ, 1973.
- Всеволожская М.А.* Кремниевая кислота в подземных и поверхностных водах Алданского массива. — В кн.: "Взаимодействие поверхностного и подземного стока", вып. 1. Изд-во МГУ, 1973.
- Ганев И.Г.* О возможности переноса веществ в форме сложных комплексных соединений. — "Геохимия", 1962, № 10.
- Геологическое строение СССР. "Недра", 1968.
- Гинзбург И.И., Кабанова Е.С.* Содержание кремнезема в природных водах и формы его присутствия. — В кн.: "Кора выветривания", вып. 3, 1960.
- Глаголева М.А.* Формы миграции элементов в речных водах. — В кн.: "К познанию диагенеза осадков". Изд-во АН СССР, 1959.
- Глазовская М.А.* Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. МГУ, 1964.
- Голева Г.А.* Гидрохимические поиски скрытого оруденения. "Недра", 1968.
- Гольдшмидт В.М.* Принципы распределения химических элементов в минералах и горных породах. — Сб. статей по геохимии редких элементов, ОНТИ, 1938.
- Гончарова И.А., Хоменко А.И., Семенов А.Д.* К определению нелетучих карбоновых кислот в природных водах. — "Гидрохимические материалы", 1966, т. 41, Новочеркасск.
- Гончарова Т.О., Кужекова Н.И.* Взаимодействие ионов никеля, кобальта, меди, цинка в растворах с гуминовыми кислотами. — "Гидрохимические материалы", 1968, т. 48. Новочеркасск.
- Горюнова С.В.* Характеристика растворенного органического вещества в воде озера Глубокого. — Труды Института микробиологии, т. 2, Изд-во АН СССР, 1952.
- Горюнова С.В.* Характеристика растворенного органического вещества Белого озера. — Труды Института микробиологии, 1954, т. 3. Изд-во АН СССР.
- Григорьев О.Н.* и др. — В кн.: "Электрокинетические свойства систем". Изд-во АН СССР, 1956.
- Гринберг А.А.* Введение в химию комплексных соединений. Госхимиздат, 1951.
- Деев Э.Т.* Геохимия осадочных образований. "Мир", 1967.
- Дементьев Л.Ф.* Статистические методы обработки и анализа промыслово-геологических данных. "Недра", 1966.
- Дзевановский Ю.К.* Геология восточной окраины Алданской плиты. Алдан, 1946.
- Драгунов С.С.* Химическая природа гуминовых кислот. — В кн. "Гуминовые удобрения, теория и практика их применения", ч. II. Киев, Гос. издат. сель-хоз. литер., 1962.
- Дроздова Т.В., Емельянова М.П.* Внутриклеточные соединения меди с гуминовыми кислотами. — Докл. АН СССР, 1960, 131, № 3.
- Дроздова Т.В.* Роль гуминовых кислот в геохимии почв. — "Почвоведение", 1963, № 8.
- Дубинин В.Н., Фильков В.А.* Фракционирование гуминовых кислот некоторых почв Молдавии фильтрацией через сефадексы. — "Почвоведение", 1968, № 5.
- Дудова М.Я.* Методы определения органического азота и его содержание в подземных водах ряда районов Советского Союза. Автореф. кандидатск. дисс. Новочеркасск, 1963.
- Дьяконова К.В.* Железогумусовые комплексы и их роль в питании растений. — "Почвоведение", 1962, № 7.
- Дьяконова К.В.* Природа гумусовых веществ почвенного раствора, их динамика и методы изучения. — "Почвоведение", 1964, № 4.

- Дэпплс Э.* Поведение кремнезема в диагенезе. ИЛ, 1963.
- Еременко В.Я.* Форма нахождения тяжелых металлов в некоторых природных водах. — "Гидрохимические материалы", 1964, т. 36.
- Еременко В.Я.* К методике установления форм нахождения тяжелых металлов в природных водах. — "Гидрохимические материалы", 1966, т. 41. Новочеркасск.
- Еременко В.Я., Ивлева Т.И.* Определение потенциометрическим методом констант нестойкости комплексных соединений никеля, марганца и свинца с масляной кислотой. — "Гидрохимические материалы", 1966, т. 41.
- Еременко В.Я., Чехунова Н.П.* Константы нестойкости соединений тяжелых металлов с фульвокислотами из чернозема. — "Гидрохимические материалы", 1965, т. 39.
- Залетов В.Г.* Комплексообразующая способность органических веществ и их роль в миграции элементов в поверхностных водах (диссертация). Новочеркасск, 1969.
- Иванов О.П.* Основные факторы развития зон окисления сульфидных месторождений в условиях многолетней мерзлоты. — "Геохимия", 1966, № 9.
- Иванова А.М., Куликов Ю.С., Егорова И.С.* Геохимические ландшафты Яно-Индигирского региона. — В кн. Труды НИИ геологии Арктики, т. 175. Л., "Недра", 1974
- Ивлева И.Н., Дацко В.Г.* О качественном составе органических веществ в природных водах на примере отдельных водоемов. — "Гидрохимические материалы", 1965, т. 40.
- Ивлева И.Н., Семенов А.Д., Дацко В.Г.* Метод определения редуцирующих сахаров в природных водах с парааминогипсуровой кислотой. — "Гидрохимические материалы", 1964, т. 38.
- Касаточкин В.И., Ларина Н.Г.* Ионный обмен и строение гуминовых кислот. — "Почвоведение", 1957, № 9.
- Кауричев И.С., Иванова Т.Н., Ноздрупова Е.М.* О содержании низкомолекулярных органических кислот в составе водорастворимого органического вещества почв. — "Почвоведение", 1963, № 3.
- Като К.* Поведение растворенного кремнезема в связи с окислительно-восстановительным циклом в озерной воде. — *Geochem. J.*, 1969, 3, № 2, 87–97, РЖ Геология, 1970, № 3. Реферат ЗВ 114.
- Кожара В.Л.* Некоторые особенности водной миграции химических элементов в районах многолетней мерзлоты в связи с гидрохимическими поисками. — Труды ИГЕМ АН СССР, вып. 99, 1963.
- Кожара В.Л.* Литохимические и биохимические поиски в мерзлотных ландшафтах. — "Разведка и охрана недр", 1964, № 3.
- Коновалов Г.С.* К изучению микроэлементов в природных водах. — "Гидрохимические материалы", 1957, т. 16.
- Кононова М.М.* Проблемы почвенного гумуса и современные задачи его изучения. Изд-во АН СССР, 1951.
- Кононова М.М., Бельгинова Н.П.* К изучению природы гумусовых веществ почвы приемами фракционирования. — "Почвоведение", 1960, № 11.
- Кононова М.М.* Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения. Изд-во АН СССР, 1963.
- Кононова М.М., Александрова И.В., Титова Н.А.* Разложение силикатов органическими веществами почвы. — "Почвоведение", 1964, № 10.
- Конрад Б., Краускопф.* Геохимия кремнезема в среде осадкообразования. — В кн.: "Геохимия литогенеза". ИЛ, 1963.
- Конторович А.Е.* Формы миграции элементов в реках гумидной зоны (по материалам Западной Сибири и других районов). — В кн.: "Геохимия осадочных пород и руд". "Наука", 1968.
- Кондратьева К.А., Кудрявцев В.А., Хруцкий С.Ф., Чижов А.Б., Чижова Н.И.* Мерзлотно-гидрогеологическая карта Южной Якутии масштаба 1 : 2 500 000. — В кн.: "Мерзлотные исследования", вып. 7. Изд-во МГУ, 1967.
- Коржинский Д.С.* Петрология архейского комплекса Алданской плиты. — Труды ЦНИГРИ, 1936, вып. 86.
- Коржинский Д.С.* Стратиграфия Алданской плиты и хребта Станового. — Стратиграфия СССР, т. 1, 1939.

- Косолапова М.Н., Косолапов А.И.* Применение гидрохимического метода при поисках кимберлитовых тел. — "Геология и геофизика", 1962, № 2.
- Кулаков М.А.* Коллоидные вещества в природных водах. — Изв АН СССР, 1938, №1.
- Лисицын А.К.* К характеристике среды при гидрогеологических исследованиях. — "Геохимия", 1963, № 2.
- Макаров В.Н.* Гидрохимические исследования в юго-западной части Якутской АССР. — Материалы VIII Всесоюзного межведомственного совещания по геологии, вып. 7. Якутск, 1966.
- Макаров В.Н., Чибисов Н.П.* Гидрохимические ореолы и потоки рассеяния. — В кн.: "Методическое руководство по геохимическим методам поисков рудных месторождений в Якутии", Якутск, 1973.
- Максимов О.Б., Прищенко Р.С., Швец Т.В.* Геохимическая роль продуктов окислительного распада гуминовых кислот. — "Геохимия", 1972, № 2.
- Манская С.М., Дроздова Т.В.* Геохимия органического вещества. "Наука", 1964.
- Маракушев А.А.* Петрология Таежного железорудного месторождения в архее Алданского щита. — Труды Дальневосточного ФАН СССР им. В.Л. Комарова. Магадан, 1958.
- Маракушев А.А.* Проблемы минеральных фаций метаморфических и метасоматических горных пород. "Наука", 1965.
- Маркович А.В.* Электродиализ растворов электролитов. — Ученые зап. ЛГУ, серия химич., 1949, вып. 8, № 108.
- Маркович А.В.* Электродиализ. — Изв. естественно-научного ин-та им. П.Ф. Лесгафта, т. 24, 1951.
- Маркович В.Г.* Применение метода диффузии к изучению состояния ионов в растворе. — Труды ЛТИ им. Ленсовета, вып. 37, 1957.
- Матаева А.А., Башмакова О.И.* К вопросу определения кремния в маломинерализованных водах. — "Гидрохимические материалы", 1964, т. 39.
- Методическое руководство по определению микрокомпонентов в природных водах при поисках рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1961.
- Минкин Л.М.* Методика поисков железорудных месторождений в Алданском районе. — В кн.: "Материалы совещания геологов Восточной Сибири и Дальнего Востока", Чита, 1956.
- Минкин Л.М.* Закономерности размещения и возраст мезозойских интрузий Алдана. — "Материалы по геологии и полезным ископаемым Якутской АССР, вып. 2, Якутск, 1960.
- Назарова А.А., Еременко В.Я.* Комплексные соединения металлов с лимонной кислотой. — "Гидрохимические материалы", 1968, т. 48, Новочеркасск.
- Налимов В.В.* Применение математической статистики при анализе вещества. Физматгиз, 1960.
- Немцева Л.И., Семенов А.Д., Дацко В.Г.* Метод количественного определения летучих аминов в природных и загрязненных водах. — "Гидрохимические материалы", 1964, т. 38.
- Нерсесова З.А.* Влияние обменных катионов на фазовый состав воды в мерзлых грунтах. — "Материалы по лаборат. исследов. мерзлых грунтов". Сб. 3, Изд-во АН СССР, 1957.
- Нестерова И.Л.* Химический состав взвесей и растворимых веществ в р. Оби. — "Геохимия", 1961, № 1.
- Нечаев Г.А., Боровицкий В.П.* Опыт поисков молибдена в условиях сплошной многолетней мерзлоты Бурятской АССР. — Труды Межд. совещ. по гидрогеохимическому методу поисков рудных месторожд. — Труды ТГУ, Томск, 1962.
- Нечипоренко Г.Н.* К вопросу о роли органического вещества при определении микрокомпонентов в природных водах. — "Гидрохимические материалы", 1959, т.28.
- Никитина И.Б.* Геохимические особенности ультрапресных вод северотаяжских мерзлотных ландшафтов Алданского нагорья. — В кн.: "Геохимия ландшафтов и процессов гипергенеза". "Наука". 1973.

- Никитина И.Б.* О формах миграции элементов в ультрапресных водах северотасжнх мерзлотных ландшафтов Алданского нагорья. — В кн.: "Геохимия ландшафтов и процессов гипергенеза", "Наука", 1973.
- Никитина И.Б.* Особенности гидрогеохимических поисков в северотасжнх мерзлотных районах Алданского нагорья. — В кн.: "Вопросы применения геохимии ландшафта при поисках рудных месторождений". Алма-Ата, 1973.
- Никольский Б.П., Горшков В.М.* Значение рН для анализа природных вод. — В кн.: "Современные физико-химические методы анализа", вып. 2, Л., ОНТИ, 1935.
- Одицон В.Н.* К вопросу о растворимых в воде органических продуктах разложения растительных остатков.— Материалы по изучению русских почв, вып.22, 1912.
- Озеров С.А.* Волга, Ока и Москва-река как источники водоснабжения г. Москвы. — Труды Комиссии по изысканию новых источников водоснабжения г. Москвы, вып. 4, 1927.
- Окомото Го, Такеси Окура, Кузуми Гото.* Свойство кремнезема в воде. — В кн.: "Геохимия литогенеза". ИЛ, 1963.
- Онуфриенко И.П., Солодовникова Р.С.* Влияние гумуса на поведение микрокомпонентов в природных водах.— Труды ТГУ. Вопросы химии, т.170, вып.2, 1964.
- Органические вещества подземных вод и их значение в миграции и концентрации химических элементов. — Труды ВНИИ гидрогеологии и инженерн. геологии, вып. 33, Госгеолтехиздат, 1970.
- Орлов Д.С., Нестеренко Н.В.* Образование гуматов кобальта, никеля, меди, цинка. — Научные доклады высшей школы. Биологич. науки, 1960, № 3.
- Основы геокриологии (мерзлотоведения), ч. 1. Общая геокриология. Изд-во АН СССР, 1959.
- Пантелеев В.В.* Количественная оценка и некоторые свойства ураносодержащих органических веществ природных вод. — Труды Томского межвузовского гидрогеохимического совещания. 1965.
- Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. Географгиз, 1961.
- Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. Изд-во "Высшая школа", 1966.
- Перельман А.И., Борисенко Е.Н., Волоковых Н.А., Мищенко В.В., Шарков Ю.Ю.* Геохимические ландшафты СССР. Авторефераты работ сотрудников ИГЕМ АН СССР за 1968 г. М., 1969.
- Перельман А.И.* Геохимия эпигенетических процессов. "Недра", 1968.
- Польков Б.Б.* Геохимические ландшафты. — В кн.: "Вопросы минералогии, геохимии и петрографии". М.—Л., 1946.
- Пономарева В.В.* О реакциях взаимодействия фульвокислот с гидроокислами оснований. — "Почвоведение", 1949, № 11.
- Пономарева В.В., Николаева Т.А.* Некоторые особенности взаимодействия гетерогенной системы гумусовых веществ с железом, алюминием, кальцием. — В кн.: "Генезис и география почв зарубежных стран по исследованиям советских географов". Докл. к XIII Международному конгрессу почвоведов. Изд-во АН СССР, 1964.
- Пономарева В.В., Эттингер А.И.* К характеристике природы органических веществ, растворенных в невской воде. — Журн. прикл. химии, 1954, 27, № 7.
- Посохов Е.В.* Формирование химического состава подземных вод. Гидрометеиздат, 1969.
- Прох И.* О применении ионнообменных смол для изучения гумусовых веществ. — "Почвоведение", 1961, № 1
- Пчелинцев Д.А.* Определение малых количеств Al_2O_3 и Fe_2O_3 в различных материалах из отдельных навесок. — В кн. "Методы химического анализа и химический состав минералов". "Наука", 1967.
- Рассказов Н.М., Солодовникова Р.С.* Микрокомпонентный состав торфов и торфяных вод Обского, Таганского и южной части Васюганского торфяных месторождений. — Труды Всесоюзного совещания по торфу, 1966.
- Резников А.А.* Полевая лаборатория для определения неустойчивых компонентов в природных водах. Госгеолтехиздат, 1954.

- Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. Методы анализа природных вод. Гостеолтехиздат, 1963.
- Руководство по предварительной математической обработке геохимической информации при поисковых работах. (Составили Беус А.А., Григорян С.В. и др.) "Недра", 1965.
- Ряженко Б.Н., Хитаров Н.И. К вопросу о форме кремнезема в водных растворах. "Геохимия", 1968, № 8.
- Савельев Б.А. Строение, состав и свойства ледяного покрова морских и пресных водосоемов. Изд-во МГУ, 1963.
- Салье О.В. Гидрохимический метод поисков золота в Алданском районе. — Зап. Ленинградск. горн. ин-та, т. 48, вып. 2, Л. "Недра", 1965.
- Сауков А.А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. Изд-во МГУ, 1963.
- Сауков А.А. Геохимия. "Наука", 1966.
- Семенов А.Д., Ивлева И.Н., Дацко В.Г. Спектрофотометрическое определение гуминовых кислот. — В сб. "Современные методы анализа природных вод". Изд-во АН СССР, 1962.
- Семенов А.Д., Ивлева И.Н., Дацко В.Г. Методика определения микрограммовых количеств редуцирующих сахаров в природных водах при помощи щелочного раствора двухвалентной меди. — "Гидрохимические материалы", 1963, т. 34.
- Семенов А.Д., Брызгалов В.А., Дацко В.Г. Потенциометрическое определение органических кислот в природных водах. "Гидрохимические материалы", 1964, т. 38.
- Семенов А.Д., Семенова И.М., Гончарова И.А. и др. Инфракрасные спектры гуминовых кислот природных вод. — "Гидрохимические материалы", 1964, т. XXXVIII. Новочеркасск.
- Семенов А.Д., Брызгалов В.А. О содержании органических кислот и их сложных эфиров в речных водах. — "Гидрохимические материалы", 1966, т. XII.
- Семенов А.Д., Немцова Л.Н. О содержании отдельных групп органических веществ в атмосферных осадках. — "Гидрохимические материалы", 1966, т. XII.
- Семенов А.Д., Семенова И.М., Гончарова И.А. Инфракрасные спектры фульвокислот природных вод. — "Гидрохимические материалы", т. XI, 1966.
- Семенов А.Д. Химическая природа органических веществ поверхностных вод. — "Гидрохимические материалы", 1967, т. 45.
- Семенов А.Д., Залетов В.Г. и др. Опыт определения миграционных форм растворенных веществ в природных водах. — "Гидрохимические материалы", 1968, т. 47.
- Сердюченко Д.П., Глебов А.В., Каденская М.И. Железные руды Южной Якутии. Изд-во АН СССР, М., 1960.
- Скопичев Б.А. О кислородном эквиваленте органических веществ природных вод. ДАН, 1947, т. 58, № 9.
- Скопичев Б.А. Органическое вещество в природных водах (водный гумус). Труды Государственного океанографического института, 1950, вып. 17(29). Л., Гидрометеоиздат.
- Смирнов М.П. Распределение и особенности органических веществ речных вод тундровой зоны. ГХМ, т. 53, 1972.
- Смолин П.П. Контактные процессы послеюрских интрузий Алдана. — Труды ИГЕМ АН СССР, вып. 38. М., 1960.
- Соколова Е.И. Экспериментальные исследования по разложению минерального вещества гумусовыми кислотами (по литературным данным). В кн. "Экспериментальные исследования по разложению минералов органическими кислотами". "Наука", 1968.
- Солодовникова Р.С. "Влияние гуминовых веществ на поведение микрокомпонентов в природных водах". Канд. дисс. Томск, 1967.
- Страхов Н.М. О карбонатном режиме рек. — "Сов. геология", 1947, № 18.
- Страхов Н.М. К познанию закономерностей и механизма морской седиментации. — Изв. АН СССР, серия геологич., 1947, № 2.

- Судовиков Н.Г.* Геология и петрология южного обрамления Алданского щита. "Наука", 1969.
- Товстоляг Е.С., Еременко В.Я., Назарова А.А.* Комплексные соединения тяжелых металлов с аминокислотами, встречающихся в природных водах. "Гидрохимические материалы", т. 56, 1971.
- Трусов А.Г.* Материалы к изучению почвенного гумуса. Пг. 1917.
- Тузова А.Я.* Опыт применения гидрогеохимического метода поисков рудных месторождений в условиях многолетней мерзлоты. Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР, вып. 15, 1961.
- Тюлин А.Ф.* Органо-минеральные коллоиды в почвах, их генезис и значение для кормового питания. Изд-во АН СССР, 1958.
- Тюрин И.В.* Органическое вещество почв. М.—Л., Сельхозгиз, 1937.
- Тютюнов И.А.* Процессы изменения и преобразования почв и горных пород при отрицательной температуре. Изд-во АН СССР, 1960.
- Тютюнов И.А.* Введение в теорию формирования мерзлых пород. Изд-во АН СССР, 1961.
- Тютюнов И.А.* Физико-химическое изменение горных пород на Крайнем Севере. — В кн.: "Физико-химические процессы в промерзающих и мерзлых горных породах". М., 1961.
- Тютюнов И.А.* К вопросу о взаимодействии минеральной части почвы с водой. — В кн.: "Физико-химические процессы в промерзающих и мерзлых горных породах". М., 1961.
- Удодов П.А., Онуфриенко И.П., Париков Ю.С.* Опыт гидрохимических исследований в Сибири. "Высшая школа", 1962.
- Удодов П.А., Солодовникова Р.С.* и др. Микроэлементы в почвах и растениях Кольвань-Томской складчатой зоны. — В кн. "Биохимические поиски рудных месторождений". Улан-Удэ, 1969.
- Филимонова Л.Г.* Геохимия фтора в таежно-мерзлотных ландшафтах Алданского нагорья в связи с геохимическими поисками флогопита. Автореф. канд. дисс., ИГЕМ АН СССР, М., 1969.
- Филимонова Л.Г.* Геохимия фтора в зоне гипергенеза областей многолетней мерзлоты. Изд-во "Наука", 1976.
- Фотиев А.В.* К изучению гумуса болотных вод. — "Почвоведение", 1964, № 12.
- Фотиев А.В.* К изучению гумуса грунтовых вод. — "Почвоведение", 1966, № 11.
- Фотиев А.В.* К природе водного гумуса. — ДАН, 1971, 199, № 1.
- Фотиев С.М.* Подземные воды и мерзлые породы Южно-Якутского угленосного бассейна. "Наука", 1965.
- Фридрихберг Д.А., Лин Гуан Цан.* Исследование поверхностной проводимости в зависимости от температуры, состава растворов и его концентраций. — Вестник ЛГУ, 1963, № 16.
- Хан Д.В.* К вопросу о связи орогенического вещества с минеральной частью почвы. — ДАН, 1951, 81, № 3.
- Хоменко А.Н., Гончарова И.А.* О составе органических кислот, растворенных в поверхностных водах. — Гидрохимические материалы, т. 55, 1971.
- Хруцкий С.Ф.* Особенности тектонических нарушений и связь их с многолетнемерзлыми породами. — Вестник МГУ, серия географ., 1964, № 3.
- Чибисов Н.П.* Миграция металлов в водах и почвах таежно-мерзлотного ландшафта района сульфидного месторождения. — Материалы VIII Всесоюзного межведомственного совещания по геокриологии, вып. 7. Якутск, 1966.
- Чижов А.Б.* Некоторые вопросы теплового взаимодействия подземных вод и многолетнемерзлых пород. — В кн. "Мерзлотные исследования", вып. IV. Изд-во МГУ, 1964.
- Чижов А.Б., Кондратьева К.А., Гордеев Г.И., Гарагуля Л.С., Труш Н.И.* Мерзлотные условия Алданского горно-промышленного района. — В кн.: "Мерзлотные исследования", вып. IV. Изд-во МГУ, 1964.

- Читаева Н.А., Голева Г.А.* Особенности геохимии цинка в зоне гипергенеза рудных месторождений и вероятные формы его переноса в подземных водах. — "Сов. геол.", 1972, № 1.
- Шабьин Л.Л.* Применение гидрохимии при поисках золоторудных месторождений. — В кн.: "Материалы научного семинара по изучению золоторудных месторождений Сибири". Томск, 1966.
- Шварцев С.Л.* Некоторые результаты гидрогеохимических исследований в условиях многолетнемерзлых пород. — "Геол. рудн. месторожд.", 1963, № 2.
- Шварцев С.Л.* О гидрохимическом методе поисков в северных заболоченных районах. — "Геология и геофизика", 1965, № 7.
- Шварцев С.Л.* О Физико-химических процессах в толще многолетнемерзлых пород. — В кн.: "Криогенные процессы в почвах и горных породах". "Наука", 1965.
- Швец В.М.* Органическое вещество в грунтовых водах севера Европейской части СССР. — В кн.: "Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии", вып. 19, 1961.
- Швец В.М., Рыжова В.М.* Органические вещества и микрофлора подземных вод юго-западной части Западно-Сибирской низменности. — В кн.: "Формирование и геохимия подземных вод Сибири и Дальнего Востока". "Наука", 1967.
- Швецов Е.С., Мехоношин С.П.* Закономерности размещения месторождений флогопита в Алданской слюдоносной провинции. — В кн.: "Закономерности размещения полезных ископаемых", т. 6. Изд-во АН СССР, 1962.
- Шевченко М.А., Таран П.Н.* Исследование элементарного состава водного гумуса. — "Гидрохимические материалы", т. 35, 1963.
- Шербина В.В.* Комплексные соединения и перенос химических элементов в зоне гипергенеза. — "Геохимия", 1956, № 5.
- Шербина В.В.* Способы выяснения форм переноса химических элементов в геохимических процессах. — "Геохимия", 1962, № 11.
- Яриева Р.Д., Варшал Г.М., Синявин М.М.* и др. О состоянии TR в поверхностных водах. — "Геохимия", 1972, № 9.
- Aschan O.* Die wasserlöslichen Humusstoffe der nördische Süßgewässer. — J.f. praktische Chemie, 1908, 77, 172.
- Berzelius I.* Lehrbuch der Chemie. Dresden—Leipzig, 1839.
- Correns C.W.* Über der Löslichkeit von Kieselsäure in schwachen Säuren und alkalischen Lösungen. — Chemie der Erde, 1940, B, Heft 1.
- Dilallo R., Albertson O.E.* — J. of the Water Pollution Control Federation, 1961, t. 33, № 4.
- Flaig W., Beutelspacher H.* Zur Kenntnis der Huminsäuren. II. Elektronenmikroskopische Untersuchungen an natürlichen und synthetischen Huminsäuren. — Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde, 1951, 52, № 1.
- Flaig W., Beutelspacher H.* Physikalische Chemie der Huminsäuren. — Landbouwkund, tijdschr, 1954, 66, № 3.
- Flaig W.* Chemie der Humusstoffe. — Suomen hem, 1960, A 33, 229.
- Kato Kikuo.* Поведение растворенного кремнезема в связи с окислительно-восстановительным циклом в озерной воде. — Gochem. I., 1969, m № 2; 1970, № 3.
- Harrison I.R., Wilson A.L.* The Absorptionmetric. Determination of Silicon in Water. Analyst, 1963, 88, № 1043. P. I, II.
- Morrison I.R., Wilson A.L.* The Absorptionmetric Determination of Silicon in Water. Analyst, P. III, 1963, 88, 1047.
- Muller H.F., Larson T.E., Ferretti M.* Chromatographic separation and identification of organic acids. Application to detection of organic acids in river Waters. — Anal. Chem. 1960, 32, № 6.
- Oden S.* Die Huminsäuren. — Kolloidchem. Beihefte, 1919, 11, 75.
- Clule W.* Chemisch-Stratigraphisch Untersuchung d. Sedimentmetamorphose eines Waldsees. — Biochemische Zeitschr., 1933, 258, 420.
- Thiele H., Kettner H.* Über Huminsäuren. — Kolloid. Z., 1953, 130, № 3.

- Scheffen F., Ulrich B.* Lehrbuch d. Agrikulturchemie u. Bodenkunde. III. Humus u. Humusdüng. Stuttgart, 1960.
- Schnitzer M.* Metal-organic matter interactions in soils and waters Org. Compounds Aquat. Environ. New York, 1971.
- Shapiro I.* Chemical and biological studies on the yellow organic acids of lake water. -- Limnol. Oceanogr., 1957, 2, № 3.
- Shapiro I.* Yellow Acid-Cation Complexes in Lake Water. Science, 1958, 127.
- Shapiro I.* Effect of Yellow Organic Acids on iron and other metals in Water. -- Amer. water works association, 1964, 56.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
<i>Глава I</i>	
Общие вопросы миграции элементов в пресных водах	5
Особенности формирования химического состава вод районов развития многолетней мерзлоты	—
Органические вещества пресных вод	8
Формы миграции элементов в природных водах	11
<i>Глава II</i>	
Геологическая и ландшафтно-геохимическая характеристика Алданского нагорья	17
Краткий геологический очерк	
Геохимическая характеристика ландшафтов Алданского нагорья	22
Мерзлотнтаежные ландшафты кислого глеевого класса	24
Северотаежные мерзлотные ландшафты кислого класса	28
Северотаежные мерзлотные ландшафты кислого глеевого и кислого классов на территории месторождений железных руд в магнезиальных скарнах	33
Северотаежные ландшафты переходного ($H^+ - Ca^{2+}$) класса	38
<i>Глава III</i>	
Геохимическая характеристика ультрапресных вод различных классов ландшафтов	43
Методика гидрохимических исследований	—
Связь химического состава ультрапресных вод с атмосферными осадками	46
Геохимические сопряжения элементарных ландшафтов и водная миграция	49
Классификация ультрапресных вод различных классов геохимических ландшафтов Алданского нагорья	75
<i>Глава IV</i>	
Органические вещества ультрапресных вод и их роль в миграции рудных элементов	82
Количественная оценка качественно различных групп органических веществ с использованием метода определения $C_{орг}$	83
Роль органических веществ в миграции рудных элементов	102
<i>Глава V</i>	
Формы миграции элементов	107
Заключение и практические рекомендации по гидрогеохимическим методам поисков в таежно-мерзлотных ландшафтах	131
Литература	136

Инна Борисовна Никитина

**ГЕОХИМИЯ УЛЬТРАПРЕСНЫХ ВОД
МЕРЗЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ**

*Утверждено к печати
Институтом геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии*

Редактор издательства *Л.М. Бекасова*
Художественный редактор *И.К. Капралова*
Технический редактор *Г.П. Каренина*

Подписано к печати 21/X — 77 г. Т — 18611

Усл. печ. л. 9,3 + 0,8 вкл. Уч.—изд. л. 11,6

Формат 60 x 90 1/16. Бумага офсетная № 1

Тираж 500 экз. Тип. зак. 674.

Цена 1 р. 20 к.

Книга издана офсетным способом

Издательство "Наука",

117485, Москва, В-485,

Профсоюзная ул., 94^б

1-я типография издательства "Наука",

199034, Ленинград, В-34, 9-я линия, 12

1 р. 20 к.

2302