

А. А. ТАРНОВСКИЙ

Геохимия донных отложений современных озер



ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛЕНИНГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени А. А. ЖДАНОВА

А. А. ТАРНОВСКИЙ

ГЕОХИМИЯ
ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
СОВРЕМЕННЫХ ОЗЕР
(на примере озер Карельского перешейка)

Под редакцией канд. геогр. наук М. Д. Скардыгиной-Уфимцевой

3400



ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛЕНИНГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ЛЕНИНГРАД 1980



Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Ленинградского университета

УДК 550,4 + 550,84 + 551,42 + 551,8

Тарновский А.А. Геохимия донных отложений современных озер (на материале озер Карельского перешейка) / Под ред. М.Д.Скарлыгиной-Уфимцевой. - Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. 172 с. - Ил. - 24, табл. - 20, библиогр. - 89 назв.

С ландшафтно-геохимических позиций рассмотрены основные геохимические особенности современных озерных отложений гумидной зоны. На примере некоторых озер Карельского перешейка показана связь состава озерных осадков с различными ландшафтными условиями на водосборах. Выявлены закономерности распределения содержания 17 химических элементов в толщах осадков современных озер перешейка. Описаны оригинальные методы количественного спектрального, рационального (фазового) анализа, с помощью которых изучены уровни количественного содержания элементов, природная вариабельность концентраций и соотношение содержания в различных генетических составляющих осадков. На основе метода ранжированных корреляционных профилей рассмотрены геохимические ассоциации элементов, их миграционная способность и некоторые черты геохимии голоцена.

Рецензенты: д-р геолог.-минер. наук С.М.Катченков, д-р геогр. наук Д.Б.Малаховский, канд.хим.наук Г.А.Шейнина, канд. геогр. наук Е.А.Спиридонова.

Т 20902 - 162
076(02) - 80 178-80. 1904020000

©

Издательство
Ленинградского
университета,
1980 г.

ИБ № 991

Анатолий Александрович Тарновский
ГЕОХИМИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СОВРЕМЕННЫХ ОЗЕР
(на материале озер Карельского перешейка)

Редактор Т.И.Петровская
Художественный редактор В.Н.Васильев
Технический редактор Г.М.Иванова
Корректоры С.К.Школьникова, В.Е.Майорова

Подписано в печать 16.09.80. М-20969
Формат 60x90 1/16. Бум.тип. № 3. Печать офсетная. Уч.-изд.л. 10,36.
Печ.л. 10,75. Зак. № 1945. Тираж 334 экз. Цена I р. 60 к.
Издательство ЛГУ имени А.А.Жданова
199164. Ленинград, В-164, Университетская наб., 7/9

РС

ПРЕДИСЛОВИЕ

Геохимия ландшафта представляет собой пограничное научное направление, развивающееся на стыке геохимии и учения о ландшафте. С одной стороны, исследуя закономерности распределения содержаний и миграции элементов в различных компонентах ландшафтов и выявляя на этой основе их "ландшафтный" характер, она изучает историю химических элементов в ландшафтной оболочке Земли. С другой, внося в характеристику ландшафтов количественные геохимические показатели и раскрывая при помощи сопряженного геохимического анализа сущность материальных взаимосвязей между их составными частями, геохимия ландшафта выступает в качестве собственного оригинального количественного метода ландшафтоведения, позволяющего изучать вещественную сторону взаимодействия, закономерности функционирования и динамики географических комплексов как целостных систем. Тем самым геохимии ландшафта отводится особо важная роль в проблеме взаимодействия общества и природы, в вопросах научной оценки и учета техногенных воздействий на окружающую человека среду, на естественный ход геохимических процессов в ландшафтной оболочке, в практическом решении задач ее мониторинга, в прогнозировании ее геохимических состояний и т.д.

Благодаря теоретическим и практическим исследованиям М.А.Глазовской, А.И.Перельмана, В.В.Добровольского, М.М.Ермолаева, К.И. и В.К.Лукашевых, В.О.Таргульяна, В.А.Снытко и других, геохимия ландшафта в целом весьма успешно и интенсивно развивается. Однако подводные ландшафты, в особенности также их компоненты, как живое вещество и донные отложения, до сих пор продолжают оставаться для геохимии ландшафта "белым пятном".

На территории нашей страны сосредоточено около 350 тыс. различных по размерам озер, большинство из которых возникли и развиваются в регионах, некогда покрытых ледниками. С момента зарождения и до наших дней на дне каждого из них формируются толщи донных отложений, которые являются не только ценным природным сырьем,

с успехом используемым в народном хозяйстве, но и представляют собой необычный компонент ландшафта, отражающий в своем веществе разнообразную информацию о былых условиях, существовавших в окружающем водоеме географическом комплексе. В поверхностных слоях озерных осадков наверняка фиксируется все увеличивающееся со временем техногенное загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами. Однако для объективной оценки такого влияния необходимы данные о кларках химических элементов донных отложений озер, которых в научной литературе пока к сожалению нет.

Настоящая работа посвящена геохимическим исследованиям донных отложений современных озер Карельского перешейка и отражает собой некоторые результаты полевых и лабораторных исследований автора, проводимых им с 1963 г. Кроме конкретных данных о распределении содержаний большой группы химических элементов в озерных осадках этого региона, она содержит ряд методических разработок автора. Работа призвана обратить внимание исследователей на необходимость более широкого геохимического изучения аквальных ландшафтов и их "донных почв". Однако лимитированный объем книги заставил автора ограничиться небольшим числом конкретных примеров.

В исследованиях на разных этапах автору помогали Г.А.Березкина, Г.Г.Блинов, Л.А.Лабзин, Е.С.Малясова, А.А.Полевой, Б.Б.Сочилина, Е.А.Спиридонова, А.Н.Тарновская, Р.А.Филенко и др. Всем названным товарищам автор приносит свою искреннюю благодарность. Автор будет признателен также всем, кто пришлет отзывы и критические замечания, и постарается использовать их в дальнейшей работе.

Г л а в а I

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ОЗЕРНЫХ ОСАДКОВ В ГУМИДНЫХ ЛАНДШАФТАХ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Известно, что донные отложения озер формируются в результате сложного взаимодействия целой совокупности разнообразных процессов: климатических, гидрологических, механических, физических, химических, биологических и других, протекающих во времени как на водосборной площади, так и в самом озере. Эта сложная система процессов, ответственная за образование донных отложений в озерах, может быть представлена в виде следующей общей схемы:

выветривание горных пород на водосборе и подготовка их вещества к миграции —> смыв, выдувание и перенос продуктов выветривания с мест мобилизации потоками талых и дождевых вод и ветром —> отделение растворов от взвесей и влекомых по дну водотоков обломков и перемещение их к озеру с разными скоростями —> взаимодействие и перемешивание всего этого материала с поверхностными продуктами почв и рыхлых образований и частичное отложение некоторой части этой смеси в путях миграции —> поступление в озеро и разнос этих сложных органо-минеральных продуктов окружающего ландшафта по площади водоема в зависимости от их размеров, свойств и внутренних особенностей озера —> взаимодействие поступившего материала с озерными водами и живым веществом, перемешивание и присоединение его к общей массе автохтонных продуктов —> окончательное осаждение этой сложной смеси аллохтонных и автохтонных веществ на дно озера в соответствии с действующими здесь физико-химическими, гидродинамическими и гидробиологическими закономерностями —> постепенное погребение поступивших на дно веществ под все новыми и новыми порциями осаждающегося материала, непрерывно преобразующегося под воздействием специфической иловой микрофлоры и хемоавтотрофных мик-

роорганизмов —→ последующее диагенетическое изменение и преобразование захороненных осадков в осадочную породу.

Конечно, данная схема, как и любая другая, не может отразить в полной мере всю сложность и многообразие процессов, которые протекают в ландшафтной оболочке и приводят к образованию озерных осадков. Она приведена здесь для того, чтобы наметить только общие черты этого сложного комплекса процессов в системе водосбор-озеро и показать определенную последовательность их развития независимо от места действия на земной поверхности, т.е. без соответствующей привязки к той или иной физико-географической обстановке.

Необходимо помнить, что ландшафтные условия всегда оказывают определяющее влияние на характер и интенсивность этих процессов. Поэтому в зависимости от конкретных условий приведенная схема может претерпевать глубокие внутренние изменения, которые отразятся и на конечном результате этих процессов — озерных осадках, т.е. приведут к количественным или качественным изменениям химического состава и свойств донных отложений.

Впервые на эту важную зависимость обратил внимание В.В.Алабышев (1932), который на основе докучаевского учения о зонах природы пришел, несмотря на ограниченность фактического материала, к широкому научному выводу о зональности озерных осадков. На опубликованных им схематических картах распространенности озерных отложений нетрудно заметить, что в двух крайне отличных ландшафтно-климатических зонах — аридной и гумидной, вещественный состав донных отложений озер также существенно различается.

Позднее Н.М.Страхов (1945) отметил необходимость обязательного учета такой зависимости осадочных процессов от физико-географических условий, точнее от климатических условий, что и было положено в основу развиваемого им сравнительно-литологического метода. Многолетние исследования в этом направлении показали правильность такого подхода и позволили Н.М.Страхову (1956) выдвинуть как следствие идею о четырех различных типах литогенеза: ледовом, гумидном, аридном и вулканогенноосадочном. Каждый из них имеет свои характерные черты развития осадкообразовательных процессов в системе водосбор — водоем, которые и проявляются в донных отложениях в зависимости от местоположения водоема в той или иной климатической зоне или области активного действия эндогенных факторов.

Сказанное в полной мере согласуется с современными географическими представлениями о зональных и азональных закономерностях возникновения, размещения и развития различных групп ландшафтов на Земле. Так, по мнению А.Г.Исаченко (1965), кроме внутренней энергии Земли, главнейшими факторами, определяющими характер и интенсивность географических процессов (выветривания, почвообразования, стока, жизнедеятельности биоценозов и т.д.), являются количество солнечного тепла и света и количество активной влаги, которые всегда выступают совместно как непосредственная причина зональности других компонентов ландшафтов. В.О.Таргульян (1967) считает, что указанные закономерности в первую очередь связаны с изменением количества и соотношения тепла и влаги, поступающих на дневную поверхность, а также с геолого-тектонической обстановкой. Нам представляется, что такой точки зрения придерживаются в основном все исследователи.

В связи с этим В.О.Таргульян (1967) выделяет на земной поверхности четыре наиболее крайних варианта возможных сочетаний тепла и влаги (климатов): холодный аридный, холодный гумидный, жаркий аридный, жаркий гумидный. В этих крайних гидро-термических условиях должны проявляться максимальные амплитуды различий природных процессов и, очевидно, должны наблюдаться наиболее четкие границы отличий между объектами их воздействий, т.е. между ландшафтами и их отдельными компонентами. Важнейшим геохимическим рубежом, резко разделяющим все существующие ландшафты на два совершенно отличных мира, является граница между аридными и гумидными климатами, по обе стороны от которой ландшафтные различия представляются наиболее контрастными.

Так, специфической чертой ландшафтных условий в аридных областях является обязательное сочетание высоких температур воздуха с отрицательным балансом влаги, т.е. общая масса выпадающих атмосферных осадков всегда меньше испаряемости и аридные ландшафты испытывают большой дефицит влаги. Следствием этого является слабый сток вод и уменьшение роли химического выветривания. Миграция почвенных растворов преимущественно происходит снизу вверх, что приводит к развитию испарительной концентрации целого ряда химических элементов, в особенности, щелочноземельных, щелочных, хлора и серы. Это создает в ландшафтах условия нейтральной и щелочной среды, что негативно влияет на развитие живого вещества. А.И.Перельман называет такие ландшафты "засоленными", так как они насыщены водорастворимыми солями (Перельман, 1975). Значительные кон-

центрации легкорастворимых солей в почвах и грунтах приводят к резкому увеличению зольности растений и изменению химического состава их золь, хотя общая масса живого вещества здесь остается незначительной (Добровольский, 1964). Водная миграция химических элементов сильно уменьшает свое значение, и в переносе минеральных масс главенствующее место занимает ветер. Через атмосферу здесь мигрирует такое количество твердого вещества, которое соизмеримо с его количеством в виде твердого стока в гумидной зоне.

Общие запасы воды в аридных ландшафтах обычно весьма незначительны, ибо она может существовать здесь в виде больших скоплений водных масс. Сохранность же этих водоемов зависит от тесноты связи аридных ландшафтов с гумидными областями, откуда возможен непрерывный сток вод в эти бассейны. Вода аридных ландшафтов представляет собой истинный раствор, так как в ней почти отсутствуют органические вещества и минеральные коллоиды. Вместе с тем, все озера осолонены и прогрессивно осолоняются в ходе своего развития. Резко падает роль живого вещества в их геохимии и осадкообразовании, что обусловлено, главным образом, заметными концентрациями хлоридов и сульфатов щелочноземельных и щелочных элементов, растворяющихся в водах до многих сотен граммов на литр. Нередко наблюдаются "самосадочные" озера, в которых количество легкорастворимых солей достигло концентрации, достаточной для их выпадения в осадок. В таких озерах в первую очередь выделяются наименее растворимые соли, но нередко одновременно кристаллизуется несколько солей, образованных преимущественно главными компонентами химического состава их вод.

В связи с тем, что растворимость некоторых солей сильно колеблется от температуры раствора, то в зависимости от годовых изменений в соляных озерах происходит циклический процесс: осаждение солей - растворение, растворение - садка солей и т.д. Если цикл по какой-либо причине не замыкается, то на дне озера постепенно может происходить накопление соляных минералов, имеющих промышленное значение. Среди соляных минералов можно назвать: галит, тенардит, мирабилит, эпсомит, бишофит, природная сода, гипс и т.д. (Дзенс-Литовский, 1968).

В целом, можно сказать, что процессы седиментации в бассейнах аридных областей являются чисто физико-химическими и в отличие от гумидных областей приобретают гораздо большую полноту и резко расширяют свой диапазон захвата в осадки значительных концентраций многих малых химических элементов - бора, брома, иода,

фтора, стронция, рубидия, цезия (Страхов, 1963). В то же время сам процесс осадконакопления носит стадийный характер.

В гумидных ландшафтах, наоборот, специфической чертой являются условия значительного, можно сказать, даже избыточного увлажнения, т.е. здесь сумма выпадающих за год атмосферных осадков всегда больше испаряемости. Этому способствует существующий здесь температурный режим, который позволяет воде находиться почти всюду и в течение всего года в одном или одновременно в нескольких ее состояниях: жидком, твердом и парообразном, и не только в виде больших скоплений водных масс, но и в рассеянном виде. Причем в жидкой фазе вода может находиться в течение весьма продолжительного в году отрезка времени. Так, например, в гумидных ландшафтах Карельского перешейка температура воздуха держится выше 0°C в среднем на протяжении 210 дней в году, что и определяет здесь условия и период нахождения воды в жидкой фазе.

Это обстоятельство, как подчеркивает Н.М.Страхов (1963), имеет большое принципиальное значение, ибо позволяет воде проявлять в гумидных ландшафтах целый ряд своих специфических и весьма благоприятных с седиментологической точки зрения свойств. Во-первых, вода легко подвижна, текуча, что не только разрешает ей самой перемещаться в ландшафтах под действием гравитационных сил, но и транспортировать находящиеся в ней твердые взвеси или передвигать более крупные обломки горных пород и минералов по дну водотоков. При этом вода может производить механическую дифференциацию перемещаемых частиц по удельному весу и размерам. Во-вторых, при движении вода воздействует на самые различные минеральные и органические вещества, растворяя их и образуя сложные истинные и коллоидные растворы, и тем самым разрешает течение многочисленных и разнообразных химических и физико-химических процессов (Алекин, 1966). В-третьих, вода является также и средой обитания живых организмов, жизнедеятельность которых дает начало множеству качественно новых химико- и физико-биологических процессов, активно воздействующих на минеральные компоненты, находящиеся в ней.

Следовательно, определенные соотношения солнечного тепла и влаги в гумидных ландшафтах обуславливают здесь постоянный избыток воды в жидкой фазе в течение всего года или большей его части, что создает благоприятные условия не только для концентрирования, скопления значительных масс в замкнутых углублениях суши, но и для постоянного рассеяния избыточных количеств воды в окружающее пространство. Это приводит к процессам постоянного движения, мигра-

ции вод в ландшафтах, к возникновению в них достаточно стабильных водотоков в виде рек и ручьев, к существованию здесь относительно сильного и непрерывного нисходящего тока вод.

Миграция и взаимодействие вод с различными компонентами ландшафтов приводит, в свою очередь, к определенному физико-химическому выветриванию горных пород и почвогрунтов, к мобилизации и энергичному выносу из них водорастворимых соединений и разных по крупности частиц органических и минеральных веществ. Постоянный приток вод разбавляет эти растворы и сильно уменьшает их минерализацию, как бы "опресняет" их. Живое же вещество, общая масса и роль которого здесь весьма велики, генерирует в ландшафты большие количества органических соединений, имеющих кислую реакцию и высокую подвижность, по-своему и весьма заметно влияет на характер мигрирующих вод. Органические вещества, перемешиваясь с водными растворами и частично растворяясь в них, в конечном итоге приводят к общему "подкислению" вод. Поэтому в гумидных ландшафтах обычно наблюдается кислая или слабокислая реакция среды, отсутствие в ней карбонатов и легкорастворимых солей.

Таким образом, уже на водосборных площадях гумидных ландшафтов, т.е. на самом начальном этапе развития сложной системы процессов озерного осадконакопления, общая схема которых рассмотрена выше, наблюдается весьма сложная и противоречивая геохимическая обстановка, резко отличающаяся от таковой в аридных ландшафтах. Можно предположить, что уже эти начальные отличия, включаясь в общий ход процессов на последующих этапах, должны приводить и к заметным различиям конечного результата их действия в озерах этих ландшафтов.

На водосборных площадях гумидных ландшафтов подготовка различных частиц и растворов к перемещению их водами происходит при взаимодействии сложного комплекса процессов физического, химического и биогенного выветривания горных пород и почвогрунтов. Механическое выветривание приводит к размельчению поверхности природных образований без какого-либо значительного изменения их химического состава. В этом случае действуют чисто физические процессы, например, измельчение и дробление горных пород под действием колебаний температуры воздуха, их растрескивание при замерзании воды и вследствие роста корней деревьев, механическое истирание их частиц и т.п.

Химическое выветривание, наоборот, нарушая целостность природных образований, влечет за собой изменение их химического и

минералогического состава. Оно происходит одновременно с физическим выветриванием и усиливается при увеличении степени измельчения их частиц и под воздействием вод в присутствии таких кислот, как угольная, серная, образующаяся при окислении сульфидов, различных органических и др. Из всего многообразия химических реакций, протекающих при химическом выветривании, можно назвать: гидролиз (реакцию взаимодействия между H- и OH-ионами воды и ионами различных химических элементов горных пород и минералов), выщелачивание пород и почвогрунтов дождевыми и тальми водами, катионный обмен, комплексообразование и т.д. При этом немаловажную роль играет растительный и животный мир, который осуществляет сложный комплекс реакций катионного обмена газов атмосферного воздуха и элементов почв через коллоиды.

Так, по данным У.Д.Келлера (1963), низкоорганизованные и примитивные растения генерируют исключительно высокие концентрации водородных ионов, которых бывает вполне достаточно, чтобы вызвать химическое выветривание в свежих горных породах даже таких относительно устойчивых минералов, как полевые шпаты. К таким сильным агентам химического выветривания можно отнести также гумус, некоторые аминокислоты, лимонную, винную, молочную и яблочную кислоты, которые выделяются корешками растений и могут быть активными комплексообразователями, способными переводить из минералов в раствор и изолировать там питательные для растений катионы.

Следовательно, относительно постоянный или периодический нисходящий ток вод, непрерывно промывающий поверхностные слои горных пород и почвогрунтов, в сочетании с действием живого вещества, постоянно генерирующего подвижные и агрессивные органические соединения, являются важными факторами выветривания и мобилизации вещества в гумидных ландшафтах. Смена влажных периодов года сухими или жаркими ведет к возрастанию концентрации солей в почвенных растворах и передвижению их в восходящем направлении, чему сильно способствуют растения, которые могут транспирировать тысячи миллиметров влаги в год (Ковда, 1973). В холодный отрицательный период происходит замерзание почвогрунтов, ведущее к осаждению солей из почвенных растворов, коагуляции коллоидных соединений, обезвоживанию почв и даже к стерилизации, так как часть низших организмов может гибнуть при сильных морозах. В целом же весь этот сложный комплекс процессов мобилизации и движения вещества на водосборах выглядит как удивительно сложное переплетение механиче—

ских, физических, химических, физико-химических и химико-биологических частных процессов (Страхов, 1963).

Наряду с этим огромное влияние на развитие процессов выветривания и стока в гумидных ландшафтах оказывает рельеф водосборных площадей, который является регулятором процесса стока и определяет направление переноса растворенных и взвешенных веществ. Характер и амплитуда расчлененности рельефа влияют на количественное соотношение темпов механического и химического выветривания, так как в случае равнинных территорий механический смысл происходит медленнее, чем химическое разложение горных пород и почвогрунтов, а при сильно расчлененном горном рельефе, наоборот, механическая денудация может резко усилиться и практически подавлять химическое выветривание, несмотря даже на существование здесь благоприятных климатических условий.

Вместе с тем, рельеф нельзя отрывать от особенностей современных эпейрогенических движений на данной территории, так как тектонические движения, образовавшие в прошлом основные неровности земной поверхности, продолжают и в настоящее время. Кроме ощутимых землетрясений, сопровождающихся разломами и другими деформациями поверхности, эти движения проявляются и в виде плавных поднятий или опусканий субстрата. Скорости новейших движений для различных территорий и даже их небольших участков могут заметно отличаться и в среднем обычно не превышают 1-3 мм/год, хотя для некоторых областей, например, для восточной оконечности Большого Кавказа, скорость поднятия достигает 16,3 мм/год (Гвоздецкий, 1979). Однако, несмотря на небольшую скорость неотектонических движений, они играют существенную роль в динамике и жизни ландшафтов. Суммируясь во времени, новейшие движения вызывают прежде всего перестройку рельефа, а через него и климата, стока, почв, растительного и животного мира и т.д., что в целом не может не сказаться на характере и направлении процессов выветривания и мобилизации осадочного материала к дальнейшему движению в водоемы.

Но не менее важную роль в процессах выветривания и мобилизации вещества на водосборах играет характер слагающих их горных пород и почвогрунтов. В зависимости от вещественного и минералогического состава поверхностных образований, подготовленный к миграции материал, который обычно представляет собой сложную смесь различных продуктов минерального и органического происхождения, может включать в себя частицы труднорастворимых минералов (кварц, опал, циркон и др.), различные глинистые минералы (гидрослюда,

каолинит, монтмориллонит и др.), органические остатки наземных растений, животных и насекомых, различные неорганические и органические кислоты и соли (углекислые, сернокислые, кремнекислые, уксуснокислые и др.), образующие в водном растворе различные концентрации ионов калия, натрия, магния, кальция, хлора, фтора и всех других элементов, которые встречаются в условиях земной поверхности. Очевидно, это всего лишь небольшой список из того множества химических соединений и частиц, которые подготавливаются к миграции на водосборах. В каждом конкретном случае состав и количественные соотношения отдельных составляющих этой сложной смеси могут быть самыми разными. Но их качественные и количественные характеристики будут тесно связаны как с особенностями вещественного и химического состава разрушаемых природных объектов, так и со способностью их к разрушению и растворению в данной физико-географической обстановке, т.е. при данном рельефе, тектоническом режиме, климате, кислотнo-щелочных и окислительно-восстановительных условиях, составе органических и неорганических кислот и т.д.

Разрушение, растворение и вынос осадочного материала с водосборных площадей гумидных ландшафтов происходит обычно стадийно, на что впервые указал Б.Б.Полынов (1934). По мнению Н.М. Страхова (1963), для многокомпонентных горных пород, содержащих большие количества силикатных, алюмосиликатных и карбонатных минералов, если этому не противодействует рельеф местности, можно наметить две резко отличные стадии химического выветривания.

В начальной стадии (щелочной) из пород выносятся все легко-растворимые соли: сульфаты и хлориды калия, натрия, кальция, магния, карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов. Одновременно происходит гидролиз силикатов и алюмосиликатов, вымывание и переход в воды извлеченных из них оснований. В связи с этим рН вод и суспензий растет, а с увеличением щелочности условий возрастает растворимость и количество выносимого из пород кремния. В то же время подвижность железа, алюминия и титана в щелочных условиях резко падает. Они осаждаются в путях миграции вод и остаточные продукты выветривания обогащаются ими.

Во второй, более поздней стадии (кислой), когда заметно уменьшается содержание в водах щелочных и щелочноземельных элементов и начинает проявляться действие живого вещества, не только продолжается разрушение алюмосиликатов и вынос всех оснований и кремния, хотя и в меньших масштабах, но приобретают подвижность и начинают мигрировать труднорастворимые соединения алюминия, железа, марган-

ца и титана. Можно сказать, что в кислую стадию, когда выветривание длительно существует во времени и хорошо развито, из пород начинают мигрировать, хотя и с разной скоростью, практически все химические элементы.

Именно поэтому для современных гумидных ландшафтов намечается ряд принципиальных особенностей, среди которых, как считает В.О.Таргульян (1967), можно отметить следующие: 1) кислая реакция ортоэлювия, под которым понимается толща рыхлых продуктов массивно-кристаллических силикатных пород, изверженных и глубоко метаморфизованных; 2) выщелоченность; 3) относительное обогащение ортоэлювия алюминием, железом и титаном, на фоне высокой подвижности оснований и кремния; 4) типоморфная роль глинистых минералов, гидрокислов и органо-минеральных соединений алюминия и железа в рыхлой толще и др.

Изменение вещественного и химического состава материнских пород на водосборе, в сторону увеличения или уменьшения разнообразия и соотношения концентраций их составных компонентов, будет приводить к определенным отклонениям от описанных условий стадийности. Наряду с этим, сильное влияние на ход выветривания будут оказывать рельеф и тектонический режим, так как при увеличении амплитуды и расчлененности рельефа и скорости неотектонических движений механическая денудация также усиливается и темпы сдвига мобилизованного на водосборе материала опережают темпы химического выветривания. Как подчеркивает Н.М.Страхов (1963), для выполнения стадийных условий необходимо, чтобы поверхностные слои горных пород, подготовленные к движению, смывались в таких размерах, которые бы не противоречили постепенному переходу элювия из щелочной стадии в кислую.

Однако; как нам представляется, весьма важным является то, что в гумидных ландшафтах главная роль в процессах перераспределения вещества принадлежит уже водной и биогенной миграции, а не атмосферной, как это имело место в аридных условиях. Кроме того, в результате взаимодействия всего комплекса описанных процессов движущаяся вода уже не представляет собой истинный раствор, как в аридных ландшафтах, а являет собой сложную дисперсную систему, состоящую из трех принципиально различных фаз: истинных растворов, коллоидных частиц и грубых взвесей, а также, если позволяют условия миграции, более крупных обломков минералов и пород и остатков органических материалов.

При миграции в ландшафтах каждый из этих продуктов подчиняется не только своим собственным законам движения — химическим, физико-химическим и механическим, но и зависит одновременно от гидродинамических условий движущихся водных масс, физико-химической, термодинамической обстановки, существующей в путях миграции, а также в значительной мере и от физико-географических условий (высотных отметок территории, рельефа, тектонического режима и т.д.). Поэтому в процессе переноса веществ, в связи с существующей неоднородностью состава и свойств пространства в ландшафтах и изменчивостью указанных факторов, происходит определенное разделение этой дисперсной системы и осаждение некоторой части движущегося материала на путях миграции. Наиболее заметно будет происходить отделение растворенных и коллоидных частиц от более грубого, кластического материала, который в подавляющей своей массе может тормозиться и оставаться в путях перемещения на самом водосборе, а растворенный материал и тонкие взвеси могут практически в неизменных количествах продолжать свое движение дальше и достигать конечного водоема стока.

Но, с другой стороны, перемещение всех этих фаз в сущности представляет собой миграцию различных химических элементов, ибо их атомы всегда лежат в основе химического строения и состава любого вещества.

Следовательно, можно сказать, что общая геохимическая подвижность каждого из элементов на водосборе будет определяться соотношением количественных содержаний его атомов в указанных фазах: обломках и грубой взвеси, коллоидных частицах и истинном растворе. Это соотношение, или форма миграции химических элементов (термин предложен Н.М.Страховым), будет тесно связано со всеми существующими здесь условиями, а также с формами нахождения элементов в местных горных породах и почвогрунтах, способностью к их разрушению и растворению в данной обстановке и индивидуальными химическими свойствами элементов. Очевидно, чем больше атомов данного элемента концентрируется в истинном растворе и тонкодисперсной фазе, тем он геохимически подвижнее другого, у которого большая доля атомов из их общего количества содержится в фазе грубых взвесей и обломков.

На практике величину количественного соотношения элемента в указанных фазах используют для определения рядов геохимической подвижности элементов. Так, например, по данным А.Э.Конторовича (1968) для бассейна р.Оби вычислен следующий ряд возрастающей гео-

химической подвижности элементов: (Zr, Sc, Ca, V, Be) → Co → Cr →
→ Si → Al → Fe → Ti → Mn → Zn → Cu → K → Sr → Mg → Na, а для той
же группы элементов бассейна р. Енисей — иной: (P, V, Be, Cr) → Al →
→ Fe → Si → Ti → Ga → Ni → Pb → Co → Mn → Ca → Cu → Ba → Sr → Ag.
Иными словами, в каждой конкретной природной обстановке будет на-
блюдаться вполне определенный ряд геохимической подвижности эле-
ментов, что, вероятно, должно находить свое отражение и в конеч-
ном водоеме стока при образовании донных отложений.

Достигнув озера, весь аллохтонный материал попадает в инне, если не сказать в совершенно новые условия, отличающиеся от тако-
вых на водосборе. При благоприятных гидродинамических условиях в
бассейне этот материал может разноситься по всей акватории озера,
смешиваясь с ранее поступившим сюда веществом, а также с органи-
ческими продуктами, которые образовались в самом водоеме (авто-
хтонное вещество). Одновременно с этим происходит механическая и
химическая дифференциация всего этого материала, а также химико-
биологическое осаждение растворенных химических соединений с об-
разованием труднорастворимых фаз, которые постепенно погружаются
на дно озера вместе с другими частичками привнесенного материала
и образуют озерные осадки.

Осаждение на дно водоема всего спектра этих различных по раз-
меру, свойствам и генезису частиц происходит непрерывно и практи-
чески одновременно, хотя каждая из ранее указанных фаз должна под-
чиняться своим собственным законам осаждения в водной среде. Так,
если рассматривать эти процессы раздельно, грубые взвеси осаждаю-
тся на дно по законам механической седиментации, а коллоидные час-
тицы и некоторые компоненты истинных растворов — подчиняются фи-
зико-химическим, химическим и, вероятно, химико-биологическим за-
конам коагуляции, сорбции, перехода в нерастворимый осадок и из-
влечения из растворов или из поглощающего комплекса мицелл. По дан-
ным же Н.М. Страхова (1963), химико-биологическое осаждение мате-
риала течет одновременно и параллельно с механическим осаждением
и поэтому все то количество коллоидных частиц и компонентов рас-
творимой части, которое может осесть в водоеме по его физико-хими-
ческим условиям, осаждается и захороняется в осадке за те же сро-
ки, что и материал грубых взвесей соответствующих размеров. Можно
сказать, что распределение на дне водоемов не только терригенного
материала, но и большей части химико-биогенных продуктов происхо-
дит по схеме и законам механической седиментации (Страхов, 1971).

Известно, что идеальная схема распределения гранулометрических типов осадков в водоемах предполагает такое течение процессов сортировки и механического осаждения материала, при котором от периферии бассейна к его центру идет постепенное уменьшение размера частиц, слагающих осадки. По этой схеме у самого берега водоема должен осаждаться грубо- и крупнозернистый материал, представленный гравием и песками, затем отложения преимущественно алевроитовой фракции (0,1-0,01 мм), а ближе к центру водоема - более тонкозернистые, сначала грубопелитовые илы (0,01-0,001 мм), потом и тонкопелитовые, глинистые илы, размер частичек которых меньше 0,001 мм. Но такая идеализированная схема осаждения на дно всей совокупности принесенных и новообразованных частиц может быть отнесена только к значительным по размерам бассейнам, например, к Ладожскому озеру, оз. Балхаш и другим, да и то весьма условно.

На самом деле, в каждой конкретной обстановке того или иного водоема процесс механического осаждения материала может становиться весьма сложным и противоречивым, ибо на его течение по указанной схеме оказывает заметное влияние целая совокупность факторов, характеризующих особенности каждого лимнического комплекса: размеры водоема и конфигурация его водного зеркала, рельеф дна, гидродинамический режим, энергетическая мощность стоковых течений, питающих бассейн веществом, глубины озера, физико-химические параметры придонного слоя воды, состав биоценозов, их общая биомасса, ежегодная продукция и т.д. Поэтому в зависимости от степени влияния этих факторов на процесс механического осаждения в каждом водоеме можно наблюдать определенные отличия от общей схемы, что весьма убедительно и наглядно продемонстрировал Н.М.Страхов (1963, 1971).

Следовательно, осаждение на дно озер гумидной зоны принесенного и новообразованного материала происходит непрерывно и практически по всей площади дна. Повсеместное накопление осадков происходит до тех пор, пока этому не помешают какие-либо внешние силы или в водоеме резко не изменятся условия осаждения. Например, перемены в накоплении осадков на некоторых участках дна озера могут происходить в связи с сильными тектоническими подвижками субстрата и резким изменением рельефа дна, что может приводить в определенные промежутки геологического времени к уменьшению размеров бассейна и его водного зеркала, сползанию осаждающегося материала с поднятий дна, изменению гидродинамической обстановки и т.д.

Но обычно в современных малых озерах осадки полностью покрывают дно сплошным чехлом разной мощности. Причем максимальные мощ-

ности осадков приходится на центральные котловины, откуда к берегам они постепенно убывает. На подводных выступах горных пород мощности осадков заметно уменьшаются, а в депрессиях дна, наоборот, могут сильно возрастать и иногда в несколько раз по сравнению со средней мощностью. Как отмечает Н.М.Страхов (1963), в связи с тем, что у малых озер сравнительно небольшие глубины и незначительная гидродинамическая активность, поступающий в них с водосборов активного химического выветривания материал оседает на дно почти не испытывая сортировки и переработки, и накопление тонкозернистых осадков смещается на все меньшие глубины, ближе к берегу. Существующие у озер заливы часто играют роль отстойников тонкодисперсного материала, чему способствует значительное развитие в них водной растительности.

Вещественный и химический состав накопленных осадков в озерах гумидной зоны может быть также разнообразным. Однако практически во всех случаях в осадках можно встретить то или иное количество органических продуктов. В связи с этим подразделение озерных осадков на разные группы обычно производят на основе содержания в них органических веществ. Например, К.И.Лукашев с соавторами (1971), среди озерных осадков Белоруссии выделяют три группы осадков: 1) минеральные (содержание органики не более 15%), 2) органо-минеральные (содержание органики более 25%) и 3) органические, в которых содержание органических продуктов увеличивается до 75-85%. Очевидно, разнообразие гранулометрического состава осадков, содержание в них тех или иных минералов и органических веществ будет определяться особенностями того комплекса условий на водосборе и в самом водоеме, о котором говорилось ранее. Нам представляется, что наиболее распространенными осадками в современных озерах гумидных областей являются глинистые и сапропелевые илы, относящиеся к органо-минеральным отложениям.

Что же касается химического состава озерных осадков, то он безусловно взаимосвязан с существующими особенностями их вещественного и минералогического состава и свойств и, очевидно, по-своему должен отражать эти различия в изменчивости концентраций главных и малых химических элементов. Однако до сих пор еще не выявлены общие закономерности пространственного распределения концентраций различных химических элементов в донных отложениях озер земного шара и, в частности, гумидных зон, что не позволяет нам привести здесь достаточно обоснованные значения величин средних содержаний элементов (кларки) и оценки variability их концентраций в осад-

как гумидных ландшафтов. Поэтому только напомним, что в донных отложениях озер, как и в других компонентах ландшафтов, должны содержаться в свойственных им переменных количествах все без исключения химические элементы, которые могут существовать в условиях земной поверхности, ибо осадки также подчиняются известному закону Кларка-Вернадского о повсеместном рассеянном распространении элементов (Сафронов, 1971). Причем концентрации малых химических элементов могут сильно зависеть от степени дисперсности их вещества. Так, например, по мнению Н.М.Страхова (1963), чем более дисперсна тонкая фракция и больше ее масса в общей массе осадка, тем больше концентрация сорбированных в ней элементов: кобальта, никеля, меди, молибдена, свинца, цинка и т.д. Если же в тонкую и тончайшую фракции осадков входят еще и такие коагуляты, как железо и марганец, то они дополнительно концентрируют в осадке некоторые количества атомов этих и других микроэлементов. По-видимому, положительную роль в концентрировании малых элементов должно играть также и органическое вещество, содержащееся в осадках.

Постседиментационные процессы, протекающие в донных отложениях озер гумидных ландшафтов, отличаются значительной сложностью и многообразием. Это связано с тем, что свежесформированный озерный осадок всегда представляет собой резко неуравновешенную и весьма неустойчивую физико-химическую систему, сложенную твердыми, жидкими и газообразными органо-минеральными продуктами разного генезиса, которая сильно обводнена и обогащена микроорганизмами (Страхов, 1963). Поэтому уже в самом верхнем слое осадка, в горизонте стабилизации, где прекращается механическое влияние волнения и частицы или переходят в состояние покоя, немедленно начинается целая серия процессов физико-химического и химико-биологического уравнивания этой сложной и многокомпонентной системы. Вся совокупность этих процессов теснейшим образом связана друг с другом в единое и неразрывное целое и носит название диагенеза осадка или превращение его в породу.

По мнению Н.М.Страхова (1971), весь ход процессов уравнивания и преобразования осадка подразделяется на несколько последовательно протекающих во времени стадий: раннего диагенеза или аутигенного минералообразования, позднего диагенеза или перераспределения образованных в осадке диагенетических минералов, катагенеза и метагенеза. На первых двух стадиях диагенеза осадка формируются и перераспределяются такие минералы, как глауконит, оолиты железа и марганца, фосфаты, цеолиты, карбонаты, силикаты и сульфиды тяже-

лых металлов. При этом осадок лишь частично литифицируется, так как его сплошная литификация происходит только после прохождения им двух более поздних стадий. Пестрота физико-химической обстановки на дне (рН, Eh, содержание ионов различных химических элементов, температура) и разнообразие в вещественном и химическом составе осадков, существующие для различных озерных водоемов в гумидных областях, делают процесс диагенеза еще более сложным, по-своему влияя на весь его ход. Поэтому в каждом конкретном водоеме этот процесс может протекать по-особому и иметь свои отличительные черты.

Необходимо особо подчеркнуть роль живого вещества в диагенезе озерных осадков. Так, по данным Б.В.Перфильева (1972), на начальной стадии диагенеза, протекающей в осадке вслед за седиментацией, ведущую роль в процессах его формирования играет специфическая иловая микрофлора. В биологически активном поверхностном слое осадков (пелогене) в массовом количестве размножаются экологически своеобразные и различные виды микроорганизмов, которые полностью отсутствуют в нижележащих слоях ила с более восстановительными условиями. Под их непосредственным воздействием вещество ила разлагается, минерализуется и частично переходит в раствор. По мере нарастания донных отложений вещество пелогена, переработанное микроорганизмами, непрерывно захороняется.

Но особенно примечательным является то, что расселение и размножение тех или иных видов микроорганизмов в вертикальном профиле пелогена происходит в соответствии с их трудноуловимыми физиологическими особенностями к существованию в определенных условиях и резко меняющимися по вертикали пелогена физико-химическими условиями среды. Поэтому каждый вид микроорганизмов, если этому не помешают случайные внешние обстоятельства, размещается только в определенном тонком ярусе пелогена — микроне, толщина которой может варьировать от нескольких миллиметров до долей миллиметра. Но так как микроорганизмы и их бактериальные экскреты могут иметь различную окраску, то в толще донных отложений озер иногда визуально можно наблюдать сложную микронеальную стратификацию.

По мнению Б.В.Перфильева (1972), состав погребенных микроне определяется не только комплексом условий данной системы водосбор-озеро и, в частности, особенностями литологии, биологии и физико-химии донных отложений, но еще и сезонной сменой гидрометеорологических условий года и колебаниями климата. Иными словами, последовательное чередование в вертикальном профиле осадков индикатор-

торных микрозон или их комбинаций следует рассматривать как отражение во времени процесса тонкоярусного развития микроорганизмов, формировавших вещество микрозон в соответствии с сезонно-годовой изменчивостью условий внешней среды. Тем самым, сезонно-годовые микрозональные прослойки в донных отложениях озер можно уподобить годичным кольцам дерева, которые формируются также сезонно и в зависимости от условий среды в году.

Следовательно, общее количество индикаторных микрозон в иловой толще, а также толщину, химический состав и свойства каждой из них, можно использовать для определения возраста осадков, скорости седиментации и, вероятно, ретроспективной динамики некоторых факторов природной среды. Можно сказать, что в ряде случаев микрозональная текстура озерных отложений являет собой весьма своеобразную летопись природы, которая ежегодно пишется микроорганизмами, точнее, их биоценозами, под воздействием меняющихся условий внешней среды.

Итак, согласно схеме, приведенной в начале данной главы, нами рассмотрена в общих чертах практически вся цепь природных процессов, которые приводят к формированию донных отложений в озерах гумидной зоны. Изложенное позволяет нам представить это интересное явление природы как весьма сложный (составной) структурный процесс, который охватывает своим воздействием одновременно все пространство системы водосбор-озеро. Его действие никогда не ограничивается только пределами самого водоема, где происходит накопление осадков, ибо он протекает одновременно в разных точках пространства и другой составной части этой системы - в окружающем озере ландшафте, где непрерывно осуществляется подготовка осадочного материала и транспортировка его в водоем для дальнейшей переработки и захоронения на дне.

Легко заметить, что функции этого структурного процесса сильно отличаются в пространствах этих подсистем и он как бы распадается на две ветви. На водосборных площадях процесс протекает в направлении разрушения вещества поверхностных образований, нарушения ранее образованных здесь групп равновесия атомов, приводит к рассеянию и частичному выносу вещества в водоем. Одновременно с этим он осуществляет обмен веществом и энергией между составными компонентами ландшафта, организует материальный круговорот в этой подсистеме. Другая же ветвь процесса действует в пределах водоема и в основном как бы в направлении созидания: использует поступивший материал для образования новых форм нахождения элементов, оса-

ждает на дно некоторую часть аллохтонных и автохтонных продуктов, приводит к захоронению и накоплению вещества. Наряду с этим процесс координирует обмен веществом и энергией между компонентами аквального ландшафта, непрерывно воспроизводит здесь специфический материальный круговорот.

Следовательно, обе ветви структурного процесса не только выполняют свои главные функции — непрерывно осуществляют материальные круговороты в подсистемах, но и постоянно изымают из них и консервируют некоторую часть вещества и энергии для последующего включения в более крупный круговорот, протекающий в масштабах геологического времени. Поэтому этот структурный процесс, составляя основу существования системы водосбор—озеро, должен обладать своими собственными закономерностями и проявляться в несколько меньшем промежутке времени, по сравнению с геологическим.

Необходимо заметить, что с позиций геохимии ландшафта система водосбор—озеро представляет собой местный ландшафт (или местность) — сочетание нескольких или даже многих ландшафтных звеньев, каждое из которых выступает как совокупность географических фаций (элементарных ландшафтов — элювиального, супераквального и аквального), сменяющих друг друга по элементам рельефа от местного водораздела к водоему и связанным миграцией вещества в твердом или жидком виде (Глазовская, 1964). Иначе говоря, система водосбор—озеро по своей сущности является сложным географическим объектом исследования, состоящим из целого ряда наиболее однородных и далее неделимых географических индивидуумов, а описанный выше структурный процесс, непрерывно протекающий в этой системе и обеспечивающий устойчивость ее существования во времени как относительной целостности, представляет собой географический процесс (Калесник, 1947; Григорьев, 1948).

В изменении, движении этого географического комплекса, во взаимодействии друг с другом его отдельных компонентов и, конечно, в самом вещественно-энергетическом круговороте принимают участие все известные в ландшафтных условиях группы качественно различных частных процессов: физических, химических, механических, биологических, гидрологических и др. Все они входят как составные части в сложную структуру географического процесса, который определенным образом организует их, согласовывает их совместное действие, определяет основной строй их течения, регулирует их общий ход так, что они протекают в определенных сочетаниях друг с другом, в некоторой закономерной последовательности и, по-видимому, ритмичности.

Само же вещество озерных осадков, являясь некоторым результатом действия в системе водосбор-озеро географического процесса, представляет собой сложный продукт взаимодействия различных веществ, тесно связанных своим происхождением с какой-то определенной группой или группами частных процессов. Поэтому вещество донных отложений озер можно представить себе в качестве сложной природной смеси различных по генезису веществ (главных фаз или генетических составляющих осадка), при выделении которых из осадка и отдельном их геохимическом изучении можно говорить об основных формах нахождения химических элементов в озерных осадках. Такое разделение вещества осадков на составляющие позволит выявить определенные изменения в течении географического процесса во времени, в частности, изменение интенсивности действия во времени какой-либо одной или нескольких групп частных процессов, входящих в сложную структуру географического процесса и участвующих в формировании донных отложений, например, биологических, физико-химических или чисто механических процессов. Эти изменения могут находить свое отражение как в соотношении масс отдельных генетических составляющих осадка, так и в содержаниях различных химических элементов в основных формах своего нахождения в донных отложениях.

Таким образом, все рассмотренные выше особенности формирования донных отложений в озерах гумидной зоны, сложность и специфичность их вещественного состава, совместно с последними достижениями теории и практики геохимии ландшафта, позволяют нам выдвинуть некоторые основные принципы геохимических исследований озерных осадков.

1. Изучение современных донных отложений "должно быть поставлено таким образом, чтобы исследовался не тот или иной частный водоем или речная артерия, сами по себе, а тот или другой, больший или меньший по размерам, естественный седиментационный ареал в целом..." (Страхов, 1971, с.362). Очевидно, в случае необходимости этот принцип не исключает возможности проведения геохимических исследований осадков какого-то одного отдельного озера или небольшой группы озер.

2. Изучение донных отложений озер такого ареала следует проводить таким образом, чтобы исследовался не только поверхностный слой осадков, но и вся толща в виде непрерывной колонки отложений, охватывающих весь период жизни озера - с момента его образования до настоящих дней.

3. Изучение извлеченных на дневную поверхность колонок озерных осадков следует вести таким образом, чтобы как можно полнее раскрыть различные стороны состава и свойств вещества осадков и одновременно выявить ретроспективную динамику их показателей. С этой целью необходимо использовать самые разнообразные методы исследования, среди которых обязательно должен быть один из методов определения абсолютного или относительного возраста осадков.

4. Изучение состава осадков следует проводить таким образом, чтобы можно было проследить не только закономерности изменчивости их формирования как целого, как сложной смеси природных продуктов, но и выявить таковые для их генетических составляющих. С этой целью необходимо добиваться разделения вещества осадков на составляющие в соответствии со структурой географического процесса.

5. Изучение закономерностей распределения содержаний химических элементов в толщах осадков следует вести в соответствии с принципом неоднородности геохимического пространства ландшафта и законом Кларка-Вернадского. При обнаружении в веществе осадков элемента, подлежащего обязательному изучению, необходимо найти новый метод анализа вещества с более низким пределом его обнаружения или усовершенствовать применяемый.

6. Изучение закономерностей распределения содержаний химических элементов в толщах осадков необходимо проводить таким образом, чтобы можно было получить не только статическую картину геохимического пространства, но и динамическую. При этом следует стремиться найти способы и приемы, позволяющие установить объективные показатели подвижности химических элементов в изучаемом пространстве-времени.

7. Изучение и выявление закономерностей неоднородного геохимического пространства следует проводить на основе широкого использования в исследованиях методов теории вероятностей, математической статистики и теории информации.

Г л а в а П

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Донные отложения озер как объект исследований обладают специфическими особенностями, которые заметно отличают их от других компонентов ландшафта. Во-первых, они скрыты под водой и труднодоступны для непосредственного изучения. Во-вторых, мощность донных отложений даже в сравнительно малых озерах может достигать нескольких метров, что требует для их опробования и получения непрерывных колонок такой длины наличия плавучих средств и специального бурового инструмента. В-третьих, поднятые на дневную поверхность осадки содержат большие количества влаги и нередко органического вещества, что создает дополнительные трудности при аналитических исследованиях их вещества. Все это и обуславливает тот круг методических проблем, с которыми каждый раз сталкиваются исследователи и которые невольно тормозят широкое развитие работ по их изучению.

С другой стороны, при геохимических исследованиях донных отложений в соответствии с некоторыми основными принципами их изучения, изложенными в предыдущей главе, проведение только одного валового спектрального анализа проб не является достаточным. Для выяснения особенностей вещественного состава, определения возраста отложений, форм нахождения химических элементов и других геохимических характеристик, наряду с валовыми спектральными определениями содержаний элементов, необходимо еще использовать и ряд специальных методов. Поэтому изучение озерных осадков проводилось нами на основе комплексной методики по нижеследующей схеме:

- 1) отбор образцов;
- 2) подготовка образцов к анализу;
- 3) получение водных и солянокислых вытяжек из осадков, а также выделение некоторых генетических составляющих осадка на основе рационального (фазового) анализа;

4) механический анализ осадков с одновременным выделением некоторых фракций, в особенности фракции меньше 0,001 мм;

5) электронно-микроскопический, рентгенографический, термический и другие виды анализа вещественного состава осадков;

6) исследование относительного возраста донных отложений и некоторых условий их формирования на основе спорово-пыльцевого метода анализа;

7) количественный спектральный анализ валового содержания большой группы элементов, а также количественное и приближенно-количественное их определение в различных составных частях осадков, выделенных механическим или химическим путем;

8) статистическая обработка полученных данных.

Очевидно, каждый образец осадков, отобранный из их непрерывных колонок, не мог быть исследован одновременно всем комплексом методов, приведенных в схеме. Все без исключения образцы осадков из дециметровых интервалов непрерывных колонок исследовались только эмиссионным спектральным и спорово-пыльцевым методами анализа, что вызывалось необходимостью получения основной информации о закономерностях распределения содержаний элементов в толщах осадков и выяснения их относительного возраста. Для получения данных, дополнительно раскрывающих некоторые особенности вещественного и химического состава осадков, использовались все остальные методы, которыми исследовалась лишь некоторая выборочная часть отобранных образцов или даже отдельные образцы. При этом спектральное определение концентраций элементов, получение вытяжек из осадков, выделение генетических составляющих, механический анализ осадков с выделением отдельных фракций и ряд других видов анализа вещества проводились при непосредственном участии автора в лаборатории геохимии ландшафта Научно-исследовательского института географии ЛГУ. Спорово-пыльцевой анализ осадков проводился в палинологической лаборатории того же института под руководством и непосредственном участии Е.С.Маласовой и Е.А.Спиридоновой. Электронно-микроскопический анализ проводился Б.А.Тучковым в биофизической лаборатории ЛГУ, а термический и рентгенографический анализы - В.П.Ивановой и Ю.С.Дьяконовым в соответствующих лабораториях ВСЕГЕИ.

Ниже кратко остановимся на некоторых наиболее важных сторонах примененной нами методики исследования озерных осадков.

Отбор проб осадков
и их первичная обработка в полевых условиях

Плавающими средствами на относительно малых по размерам водоемах обычно являются малые катера, спаренные лодки - катамараны, лодки и плоты. Поэтому для отбора проб донных отложений здесь используются небольшие грунтовые трубки различных конструкций, илобуры, стратометры, челтомы и т.п. "малая" техника (Бракш и др., 1967; Семенович, 1966; Бродская, 1954). С их помощью иногда удавалось получать составные непрерывные колонки осадков длиной 5-9 м, хотя сама длина камеры бура была не более 50 см (Бракш и др., 1967).

В настоящих исследованиях нами использовался специально сконструированный бур из твердой легированной стали, позволяющей выдерживать большие деформационные нагрузки при бурении глубоких скважин. Диаметр его камеры был увеличен до 5 см, а длина - до 40 см. Это позволило нам извлекать на дневную поверхность непрерывные колонки осадков длиной до 10,4 м и одновременно отбирать из них с каждого дециметрового интервала несколько образцов для проведения запланированных анализов.

Бурение скважин и отбор проб осадков на различных озерах проводились летом либо со спаренных лодок, на которых помещался помост из досок с отверстием для бура посередине, либо с одной лодки, связанной для устойчивости с накаченной воздухом камерой от автомашины таким же настилом. Лодки ставились на якорь или привязывались к двум длинным шестам, плотно вогнанным в дно исследуемого водоема.

Место для бурения скважины на озере выбиралось таким образом, чтобы наверняка получить полный разрез донных отложений, отражающий всю жизнь водоема с момента его зарождения. С этой целью проводились промеры глубин озера, строилась батиметрическая картосхема, позволяющая вместе с данными о рельефе водосбора, конфигурации водного зеркала и сведениями о неотектонических движениях региона выбрать ряд мест и провести рекогносцировочное бурение. К выбранной точке пригонялся плавающий помост и надежно закреплялся на якорях. Камера бура тщательно промывалась водой озера, к буру присоединялось необходимое число штанг, еще раз измерялась глубина озера в точке бурения и закрытый бур постепенно ввинчивался в донные отложения на длину камеры. Вращением бура в обратном направлении открывалось окно камеры, заполнялось веществом осадков, закрывалось вращением в противоположную сторону, после чего бур осторожно

вынимался из скважины на поверхность. После записи в журнал характерных особенностей отобранных осадков озерный ил извлекался из камеры и делился на четыре дециметровых образца, которые помещались в полиэтиленовые банки или заворачивались в кальку. Камера бура промывалась, аналогичным образом возобновлялось бурение и из нижележащего 40-сантиметрового слоя осадков отбирались еще четыре образца. Такой цикл операций повторялся до тех пор, пока окончательная бура не упиралась в скальный грунт или уже не мог поворачиваться. Из отобранных таким образом дециметровых образцов складывалась непрерывная колонка осадков данной длины.

В полевых условиях некоторая часть вещества отобранных образцов осадков подвергалась предварительной обработке и анализам. Для этих целей устанавливалась большая палатка-лаборатория, где колориметрическим методом в свежем осадке определялась концентрация водородных ионов, при помощи титрования щелочью - содержание CO_2 карбонатов, велась предварительная сушка образцов. Если образцы успевали высушиться на солнце до воздушно-сухого состояния, то они истирались в агатовой ступке до необходимой крупности и затем переносились в пакетик из кальки. На некоторых озерах воздушно-сухие образцы осадков использовались для получения из них в поле концентратов солянокислых вытяжек. Вытяжки из осадков проводились на холоду, а соосаждение малых элементов и получение концентратов проводилось на основе сульфида кадмия (Миллер, Степанов, 1959). Затем концентраты сушились на солнце, помещались в пакетики из кальки и после возвращения с полевых работ анализировались в лаборатории спектральным методом.

Подготовка и анализ вещества осадков в стационарных условиях

Особое внимание в лаборатории уделялось подготовке образцов осадков к эмиссионному спектральному анализу, вопросам чистоты проводимых операций во избежание загрязнений осадков посторонними примесями. С этой целью подготовка образцов к анализу проводилась в специальном помещении, где в сушильных шкафах при температуре 105°C сначала полностью удалялась влага из осадков, как подготовленных в поле, так и еще не прошедших обработку. После этого из каждого необработанного еще образца отбирались навески по 3-5 г путем обычного квартования или вычерпыванием не менее чем из 8-10 различных мест разложенного на плоскости стола образца. Навески тщательно

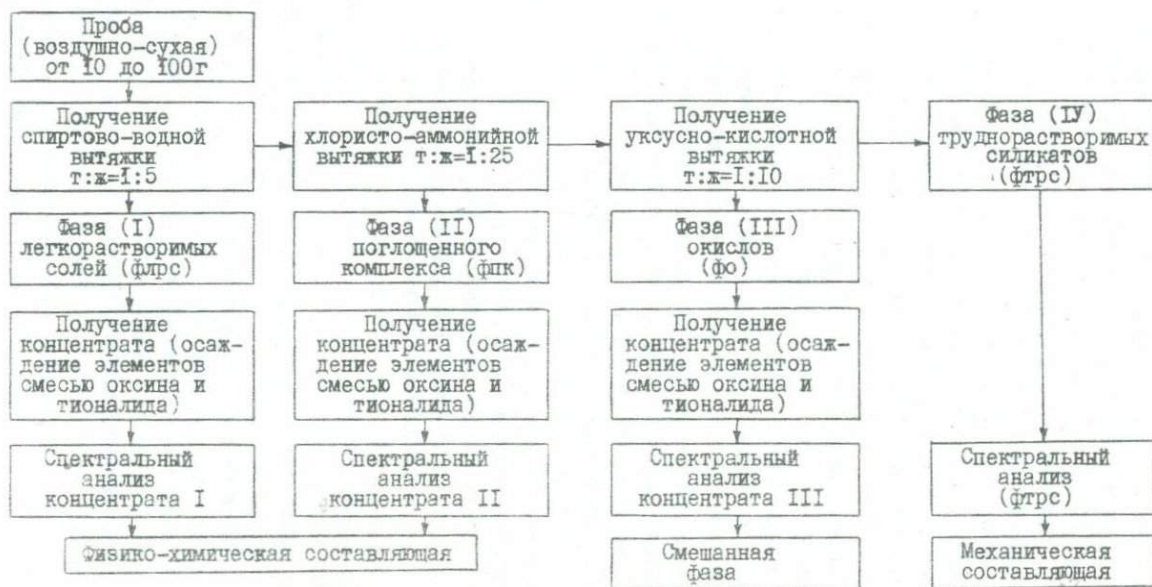
истирались до пудрообразного состояния, помещались в маленькие тигли и ставились в муфельные печи для озоления. Освобождение проб от органики проводилось при температуре 450–500°C, но не выше, чем 500°C. Затем озоленные пробы еще раз истирались и передавались на спектральный анализ.

Наряду с этим в химической части лаборатории проводились водные и солянокислые вытяжки из образцов ряда колонок осадков. В зависимости от общей массы образца навески проб для получения водной вытяжки из осадков колебались от 6 до 70 г, а для солянокислых вытяжек – от 6 до 10 г. Все остальные операции по получению концентратов на основе сульфида кадмия проводились по прописи соответствующей методики (Миллер, Степанов, 1959).

При получении водных вытяжек из образцов осадков непрерывных колонок некоторых озер одновременно проводилось выделение фракции меньше 0,001 мм, точнее суточной фракции. В таких случаях пробы также заливались дистиллированной водой в высокие литровые стаканы, содержимое хорошо взбалтывалось и оставлялось в покое на сутки. Затем жидкость со взвесью над осадком осторожно декантировалась и фильтровалась через беззольный фильтр. В водной вытяжке проводилось осаждение микроэлементов на основе сульфида кадмия, а осадок, полученный на фильтре, высушивался, озолялся в муфельной печи и анализировался спектральным методом.

В особо чистом помещении лаборатории проводились работы по разделению вещества осадков на ряд генетических составляющих (фаз). Эти методические разработки велись в соответствии с принципами, изложенными в первой главе. Предполагалось, что выделение генетических составляющих осадков и последующее определение в этих фазах содержания группы элементов позволит не только выяснить особенности распределения каждого исследуемого элемента внутри сложного вещества осадков и особенности его поведения при формировании донных отложений, но и степень участия каждой из форм движения материи в их общем, структурном движении, подчиняющемся географической форме движения. В результате таких работ нам удалось разработать начальный вариант рациональной (фазовой) методики анализа донных отложений, которую, вероятно, можно использовать и в изучении других образований зоны гипергенеза (см. схему). Эта методика сложна и состоит из ряда последовательных химических операций, позволяющих выделить некоторые главные фазы осадков, провести концентрирование в каждой из них целой группы элементов и проанализировать концентраты спектральным методом (Тарновский, Социлина, 1969). На основе этой ме-

Схема рационального анализа донных осадков
(без выделения органической составляющей)



тодики проведен анализ небольшой группы образцов, каждый из которых являлся комбинацией нескольких проб, характеризующих определенный интервал относительного времени образования осадков.

Спектральный анализ вещества осадков

В наших первых работах по изучению донных отложений озер, выполненных коллективом авторов, было выяснено, что большинство малых химических элементов содержится в них обычно в незначительных концентрациях (Березкина, Малясова, Тарновский, Филенко, 1965, 1966). Кроме того, используемая в этих исследованиях методика полуколичественного спектрального анализа (спектрограф ИСП-28, испарение из канала угольного электрода, оценка концентраций элементов по методу М.М.Клера) не отличалась достаточно высокой чувствительностью и точностью определений элементов. Поэтому возникла необходимость в разработке специальной методики спектрального анализа озерных осадков.

В результате проведенных нами спектро-аналитических исследований такая методика количественного спектрального анализа была разработана для определения в осадках содержаний одновременно 17 химических элементов (Тарновский, 1969а). В табл.1 нами приводится краткая характеристика практических условий проведения спектрального анализа осадков по этой методике, а в табл.2 - необходимые сведения по основным аналитическим линиям определяемых элементов.

Эталон для работы по этой методике изготавливались на основе "пустых осадков", которые представляли собой ранее отобранные образцы донных отложений озер с наименьшими содержаниями анализируемых элементов. Все эти образцы тщательно истирались, смешивались в один гомогенный образец, который прокаливался в муфельной печи при температуре 800-900°C в течение 8 ч. Затем он вновь тщательно истирался, перемешивался, квартовался и в конечном итоге подразделялся на две равные части, в каждую из которых вводилось по 1% чистых окислов элементов вполне определенной группы. Таким образом были приготовлены два головных эталона, в первый из которых были введены медь, никель, кобальт, хром, ванадий, титан, марганец и бор, а во второй - цинк, свинец, олово, серебро, галлий, молибден и цирконий. Остальные эталоны этих двух серий готовились путем разбавления головных эталонов "пустой" основой в соответствующее число

Т а б л и ц а 1

Краткая характеристика методики спектрального анализа
озерных осадков

Наименование аппаратуры, материалов и пр.	Условия проведения анализа
Спектрограф	ДФС-8-1 с репликой дифракционной решетки 600 штр/мм; ширина щели 30 мкм
Рабочая область спектра	2450-3550·10 ⁻¹⁰ м, первый порядок
Источник возбуждения спектра	Дуга переменного тока, генератор ДГ-2, напряжение 220 В, сила тока равна: для $\tau_1 = 10-12$ А, для $\tau_2 = 20$ А
Экспозиция	Общее время экспонирования $\tau_{общ} = 2\tau = 2$ мин, $\tau = \tau_1 + \tau_2 = 1$ мин, $\tau_1 = \tau_2 = 30$ с
Электроды	Спектрально-чистые угольные электроды марки В-3, безборные, верхний - усеченный конус, нижний - полый кратер с размерами: диаметр - 3 мм, глубина - 4 мм, толщина стенок - 0,5 мм
Аналитический промежуток	4,0 мм
Величина навески пробы	Определяется объемом канала нижнего электрода, плотно заполняемого пробой. Средняя величина навески равна 69,3 мг
Анализируемые пробы и эталоны	Образцы донных осадков, растертые до крупности - 200 меш и прокаленные при 450-500°С. Эталоны на основе "пустых" образцов донных осадков
Экспонирование спектров	Спектры двух навесок одной и той же пробы экспонируются на одно и то же место фотопластинки через двухступенчатый ослабитель (пропускаемость: 100 и 10%). На фотопластинке 13 x 18 см помещается 50 спектров
Фотоматериалы	Фотопластинки "спектрографические, тип I", чувствительность 0,8 единиц ЮСТ 2817-50, одного номера эмульсии
Проявление фотопластинок	Время проявления 3 мин в стандартном метол-гидрохиноновом проявителе при температуре 20°С и непрерывном покачивании кюветы
Калибровка фотопластинок	Величина коэффициента контрастности находится по характеристической кривой, которая строится по спектру железа, экспонированному через 3-ступенчатый платиновый ослабитель
Измерение плотности по чернениям	На микрофотометре МФ-4 и МФ-2 измеряются 100 или 10% ступеньки ослабленных спектральных линий

Наименование аппаратуры, материалов и пр.	Условия проведения анализа
Метод построения аналитических графиков	Метод твердого графика в комбинации с методом переводного множителя, в координатах $\Delta S - \lg C$
Точность метода	Средняя величина средней квадратической относительной ошибки (коэффициент вариации) для метода в целом равна $\bar{V} = 9,6\%$

Таблица 2

Особенности определения содержаний элементов в осадках по их основным аналитическим линиям

Элемент	Аналитическая линия, $\times 10^{-10} \text{M}$	Интервал определяемых содержаний, вес. %	Тангенс угла наклона градуировочного графика	Аналитическая дисперсия ($A_{ан}$) в единицах ΔS
Кремний	2577, I	15,0-35,0	2,06	0,0014
Железо	2901, 4	2,0-10,0	0,88	0,0011
Марганец	2933, I	0,05-0,50	1,00	0,0015
Титан	2841, 9	0,1-1,0	0,94	0,0052
Ванадий	3185, 4	0,002-0,01	2,00	0,0030
Хром	3015, 2	0,001-0,03	0,80	0,0009
Никель	3050, 8	0,0005-0,01	1,30	0,0012
Кобальт	3453, 5	0,001-0,01	1,70	0,0012
Медь	3274, 0	0,001-0,01	2,20	0,0029
Бор	2496, 8	0,003-0,03	0,27	0,0003
Цинк	3345, 6	0,004-0,03	0,37	0,0012
Свинец	2833, I	0,001-0,01	1,15	0,0020
Олово	3175, 0	0,0002-0,001	1,00	0,0007
Галлий	2943, 6	0,003-0,03	1,70	0,0009
Серебро	3382, 9	0,000005-0,0001	1,16	0,0019
Молибден	3170, 3	0,00005-0,0005	0,81	0,0008
Цирконий	3273, 0	0,001-0,06	0,75	0,0057

раз. Для количественного определения содержаний кремния и железа использовались также естественные эталоны – близкие по химическому составу к озерным осадкам образцы горных пород с известными содержаниями этих элементов. В качестве примера на рис. 1 и 2 показаны аналитические графики, построенные при помощи таких эталонов для определения концентраций в озерных осадках некоторых элементов.

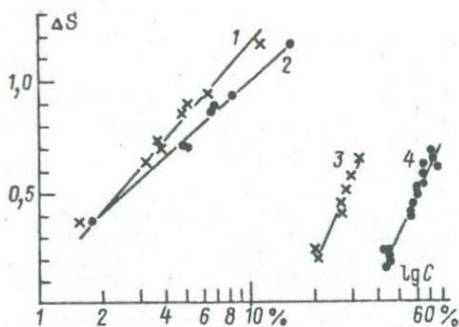


Рис. 1. Градуировочные графики для определения валовых концентраций Si (3, 4) и Fe (1, 2) в образцах озерных осадков.

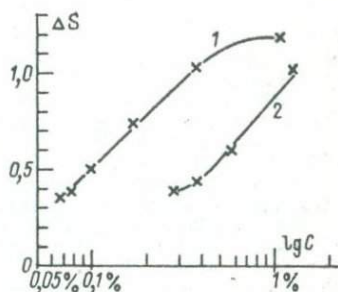


Рис. 2. Градуировочные графики для определения валовых концентраций Mn (1) и Ti (2) в образцах озерных осадков.

При построении аналитических графиков обязательно учитывались начальные концентрации элементов в "пустой" основе эталонов. Определение таких остаточных концентраций элементов производилось при помощи метода добавок, как это показано, например, на рис. 3.

В качестве внутреннего стандарта при определении содержаний элементов использовался сплошной фон спектрограммы вблизи аналитических линий, так как доказано, что такой прием особенно эффективен при спектральном анализе одновременно большой группы малых элементов (Боровик, 1942; Прокофьев, 1951). При этом величина разности почернения спектральной линии и фона ΔS в определенной области своих значений связана линейной зависимостью с логарифмами концентраций элементов $\lg C$. Поэтому величины ΔS можно представить себе в виде некоторых аналогов величин $\lg C$ и самостоятельно использовать их в геохимических исследованиях в качестве относительных показателей изменчивости содержаний элементов в каждом объ-

екте (Кудымов, 1960; Катченков, 1964). В данной работе величины ΔJ , которые мы именуем косвенными величинами концентрации (КВК), используются весьма широко, что связано с выявлением еще одной возможности для их применения.

Известно, что отдельное значение концентрации элемента, полученное в результате спектрального анализа одного из образцов изучаемого объекта, в сущности является всего лишь промежуточным звеном на пути выявления более общих и важных геохимических характеристик объекта. Это связано с тем, что при анализе вещества природных объектов практически повсеместно наблюдается явление анизотропности их химического состава или, иначе говоря, неоднородности геохимического пространства, которое требует от геохимиков обязательного изучения содержаний элементов в целой сети точек объекта и применения специальных методов математической обработки полученных данных. Поэтому, как нам представляется, при использовании в геохимических исследованиях спектрального метода анализа логичнее проводить статистическую обработку не самих значений концентрации, а их аналогов — КВК, т.е. находить соответствующие оценки параметров распределения КВК в изучаемом объекте и с ними входить в хорошо отстроенный график. Такой прием не только облегчает ведение спектрального анализа и уменьшает связанные с ним ошибки, ибо полностью устраняет кропотливую и трудоемкую операцию перевода всех найденных значений КВК в концентрации, но и превращает его в неотъемлемую составную часть комплексной геохимической методики исследования природных объектов. Однако применение такого приема возможно лишь в том случае, если имеется надежный способ перевода значений КВК, полученных на равных спектрограммах, к значениям одной из них, так как спектры всей совокупности образцов изучаемого объекта обычно не помещаются на одной фотопластинке.

Такой способ перевода значений КВК в один масштаб существует — это метод переводного множителя, разработанный И.С.Флишманом (1961). Переводной множитель K вычисляется по формуле

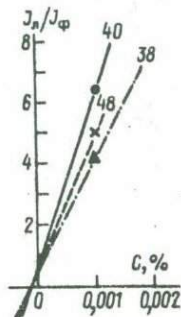


Рис. 3. Определение остаточной концентрации M_0 методом доборов.

$K = \gamma_1 / \gamma_2$, где γ_1 и γ_2 - коэффициенты контрастности первой и второй фотопластинок. Перевод производится простым умножением значений КВК второй фотопластинки на величину K . Коэффициент контрастности фотопластинок определяется по ее характеристической кривой, которую можно легко построить при помощи двухступенчатого ослабителя (Нагибина, Прокофьев, 1967).

Как известно, на величину плотности почернения спектральных линий сильное влияние оказывают условия проявления фотопластинок, а именно: температура проявителя, его концентрация и время проявления. Нами было проверено влияние изменчивости одного из главных факторов - концентрации раствора проявителя. При прочих равных условиях характеристические кривые фотопластинок (рис.4), проявлен-

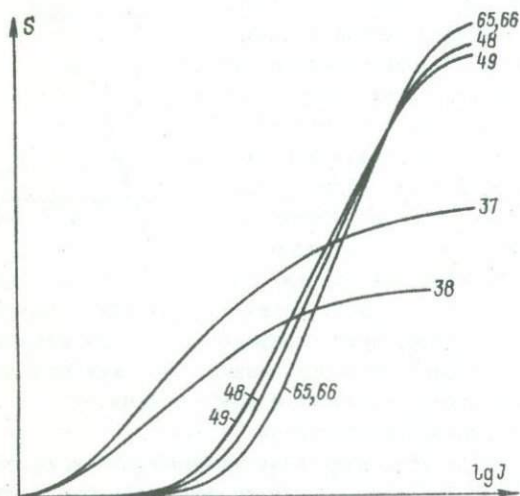


Рис.4. Влияние эффекта истощения раствора проявителя на вид характеристических кривых фотопластинок.

ных последовательно в одной и той же порции проявителя, меняют не только наклон прямолинейной части (48 и 49), по которой определяется коэффициент контрастности, но и свою форму, когда раствор проявителя сильно истощается (37 и 38). Если же для каждой фотопластижки используется свежая порция проявителя, то характеристические кривые практически совпадают (65 и 66).

Однако, как показали опыты, метод переводного множителя хорошо корректирует результаты даже в самом неблагоприятном случае (38)

и позволяет перевести значения КВК для разных фотопластинок к одной из них (48). Так, для эталонов свинца (рис.5) по фотопластинке 38 получены следующие значения КВК - 0,20, 0,27, 0,31 и 0,44. Для тех же эталонов по фотопластинке 48 - 0,71, 0,90, 1,06 и 1,42. При использовании переводного множителя ($K = 3,5$) значения КВК фотопластинки 38 преобразуются в новые значения - 0,70, 0,94, 1,08 и 1,54, которые незначительно, практически на величину ошибки метода анализа, отличаются от соответствующих значений КВК фотопластинки 48.

Результаты эксперимента позволяют сделать вывод, что значения КВК по разным фотопластинкам можно достаточно точно сводить при помощи метода переводного множителя к соответствующим значениям КВК какой-либо одной из них, т.е. приводить к одному масштабу измерений, создавать однородные совокупности значений КВК, которые уже можно использовать наравне со значениями самих концентраций в геохимических построениях.

Предложенная методика спектрального анализа использовалась нами не только для определения валового содержания элементов в осадках, но и для анализа элементов во фракции меньше 0,001 мм, а также в фазе труднорастворимых силикатов - остатке осадков после проведения основных операций рационального анализа. Что же касается определения элементов в других фазах, выделенных из осадков, то оно проводилось по прописи спектро-химической части данной методики, которая опубликована в печати (Тарновский, Березкина, Социлина, 1969).

Метод спектрального анализа использовался и для массового определения группы малых элементов в концентратах, полученных из вод озер и различных вытяжек из осадков путем соосаждения элемен-

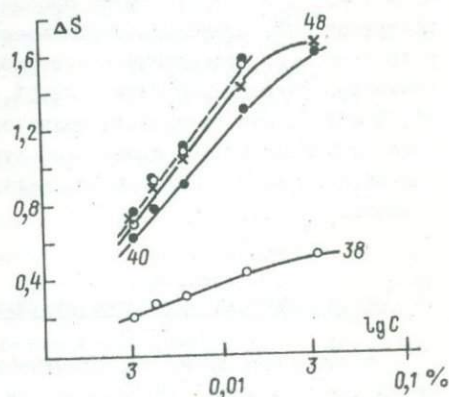


Рис.5. Перевод значений ΔS для $Pb \lambda = 2833,1 \cdot 10^{-10}$ м на разных фотопластинках (38 и 40) к масштабу одной из них (---) при помощи метода переводного множителя.

тов с сульфидом кадмия. Так как основа концентратов для всех проб была одинакова, то была сделана попытка придать спектральному окончанию этой методики количественный характер. С этой целью вместо визуальной оценки плотностей почернения спектральных линий, предложенной в прописи методики, использовалось объективное фотометрирование. Перевод измеренных на микрофотометре значений КВК к одной фотопластинке производился при помощи метода переводного множителя. При этих условиях проведения спектрального анализа концентратов была значительно уменьшена ошибка воспроизводимости определений: При статистической обработке результатов анализов она оказалась равной: для меди - 22,3%, молибдена - 27,3%, никеля - 31,7% и т.п. Эти результаты можно отнести к группе приближенно-количественных оценок и они явно лучше, чем результаты визуальной оценки содержаний, которая предлагается авторами методики (Миллер, Степанов, 1959).

Статистическая обработка результатов спектрального анализа

В настоящее время в геохимических исследованиях для обработки данных чаще всего используют две модели теоретических законов распределения случайной величины - нормальный и логарифмически-нормальный. Свойства этих законов поддаются физическому толкованию и довольно просты, а сами вычисления и оценки их параметров весьма удобны для практики. При аппроксимации эмпирических данных этими законами необходимо иметь оценки небольшого числа параметров, из которых наиболее важными являются оценки центральных характеристик статистических совокупностей (арифметическое и геометрическое среднее) и мер вариации данных, разброса значений случайной величины вокруг этих средних (дисперсия концентраций и логарифмическая дисперсия). Оба этих закона характеризуются одновершинными симметричными кривыми распределения и отличаются друг от друга тем, что при нормальном законе рассматриваются сами численные значения исследуемой величины, а при логнормальном законе - их логарифмы. Основные параметры этих двух законов имеют между собой вполне определенные взаимосвязи, что позволяет, как это убедительно показал Р.И.Дубов (1974), на основе соответствующих формул перехода находить по известным численным значениям параметров одного закона неизвестные значения параметров другого.

В работах Н.К.Разумовского, А.Б.Вистелиуса, Л.Х.Аренса, Д.А.Родионова, Р.И.Дубова, А.А.Беуса и многих других исследователей показано, что в подавляющем большинстве случаев пространственные распределения в объектах концентраций малых химических элементов подчиняются логнормальному закону. Вместе с тем, отображаемое на основе результатов анализов статистическое распределение концентраций элемента в объекте на самом деле всегда представляет собой некоторую композицию двух статистических распределений — истинного количественного содержания элемента и случайных ошибок анализа. В случае, когда значения показателей этих двух составляющих аппроксимируются одним и тем же теоретическим законом распределения, например, логнормальным, то появляется реальная возможность разграничить действие этих составляющих. Это особенно удобно при использовании в геохимических исследованиях спектрального метода анализа, случайные ошибки которого аппроксимируются также логнормальным законом. Поэтому, используя косвенные результаты спектрального анализа, величины КВК, можно не только проводить разбиение на составляющие, но и находить природную дисперсию содержаний элементов (Тарновский, 1969; Тарновский, Лабзин, 1969).

Все изложенное и явилось основой для применения в настоящих исследованиях следующих формул и выражений математической статистики:

1. Средняя арифметическая оценка значений КВК в изучаемом объекте

$$\overline{\Delta S} = \frac{1}{n} \sum_1^n \Delta S_i,$$

где $\overline{\Delta S}$ — среднее арифметическое КВК (при использовании аналитического графика и переводе этого значения по шкале концентраций оно равно антилогарифму средней арифметической величины из логарифмов концентраций элемента в объекте, т.е. $\Delta S \rightarrow \text{anti } \overline{\lg C}$), ΔS_i — результат единичного определения содержания элемента в единицах КВК, n — число анализов.

2. Оценка дисперсии в единицах КВК

$$D_{\text{об}} = \frac{1}{n-1} \sum_1^n (\Delta S_i - \overline{\Delta S})^2.$$

3. Оценка истинной, природной дисперсии в единицах КВК

$$D_{\text{пр}} = D_{\text{об}} - D_{\text{ан}}.$$

4. Оценка логарифмической природной дисперсии (природной дисперсии логарифмов концентрации)

$$D_{np}^{lg} = D_{np}^{\Delta S} / K^2 ,$$

где K - тангенс угла наклона градуировочного графика.

5. Оценка средней арифметической величины концентраций элемента в донных отложениях (M_a) (использовано выражение связи средней геометрической величины концентраций (M_r) и средней арифметической на основе работы Р.И.Дубова (1974))

$$\lg M_a = \lg M_r + \frac{D_{np}^{lg}}{2M} , \quad \text{где } M = \lg e = 0,4343 .$$

6. Оценка коэффициента парной линейной корреляции между двумя элементами в единицах КБК

$$r_{1,2} = \frac{\sum_i^n (\Delta S_{1i} - \bar{\Delta S}_1)(\Delta S_{2i} - \bar{\Delta S}_2)}{\sqrt{\sum_i^n (\Delta S_{1i} - \bar{\Delta S}_1)^2 \cdot \sum_i^n (\Delta S_{2i} - \bar{\Delta S}_2)^2}} .$$

В последующих главах работы приводится еще несколько приемов математической статистики и теории информации, которые использовались для выявления некоторых характеристик вещественного и химического состава.

Г л а в а Ш

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА

Карельский перешеек является весьма своеобразным и интересным в физико-географическом отношении регионом нашей страны. С одной стороны, природа перешейка соответствует общему направлению ее развития на северо-западе лесной зоны, что позволяет считать его в этом отношении единой территорией. С другой, целый ряд азональных факторов, органически вплетаясь в сложную ткань зональных процессов и различным образом взаимодействуя с ними на разных участках перешейка, заметно влияют на их общий ход и приводят к определенному разнообразию природных условий на его территории. Эти особенности ландшафтных условий на перешейке кратко рассматриваются нами ниже.

Черты геологического строения, рельефа и палеогеографии

Развитие природы Карельского перешейка тесно связано с его необычным местоположением на земной поверхности. Он расположен на месте слияния юго-восточной окраины Балтийского кристаллического щита с северо-западным краем Русской платформы (рис.6). Граница контакта этих двух крупных и различных геоструктурных областей Земли проходит на его территории приблизительно в широтном направлении и несколько южнее линии, соединяющей г.Приозерск (на берегу Ладожского озера) - г.Выборг (на берегу Финского залива). Она существует с позднего протерозоя и является важным азональным рубежом, по обе стороны которого формирование и развитие ландшафтов происходило и происходит в различных условиях. Причем определяющими факторами различия этих двух частей перешейка выступают резкая неоднородность геологического строения, литологического состава их субстрата и рельеф.

Развитие ландшафтов северной, меньшей по размерам, части Карельского перешейка происходило в пределах окраинной части Балтий-

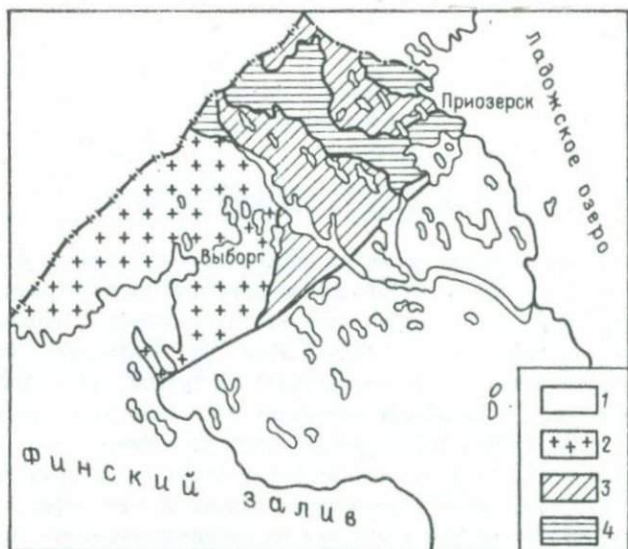


Рис.6. Схема геологического строения Карельского перешейка.

1 - кембрийская система, нижний отдел; 2 - протерозой, граниты рапакиви; 3 - архей, граниты, гранодиориты, мигматиты; 4 - архей, мигматиты гранита.

ского щита в условиях сильно расчлененного скалисто-грядового рельефа, возникшего в результате интенсивного воздействия процессов избирательной денудации на неоднородные по минералого-петрографическому составу кристаллические горные породы и экзарационной деятельности ледника. В этой части перешейка архей-протерозойские кристаллические породы фундамента выходят на дневную поверхность в виде скалистых выступов - сельг, которые чередуются в пространстве с различными по мощности, генезису и составу верхнечетвертичными отложениями, заполняющими или чуть прикрывающими межсельговые понижения.

В то же время в пределах этой северной в целом весьма своеобразной части перешейка наблюдаются различия в ландшафтных условиях менее разкого характера, обусловленные наличием еще одного

азонального рубежа, менее значимого, можно сказать второго порядка. Здесь древняя зона тектонических разломов, по которой в настоящее время часть пути несет воды р. Вуокса, как бы разделяет весь декембрийский кристаллический массив на два различных комплекса горных пород: северо-восточный и юго-западный.

Северо-восточный комплекс древних горных пород очень сложен. Наиболее древними образованиями этого комплекса считают нерасчлененные толщи интенсивно метаморфизованных осадочных пород так называемой ладожской формации, которые в этой части слагают лишь узкую прибрежную часть Ладожского озера. Эти породы относят к архейскому времени, хотя их современный облик формировался в сложной тектонической обстановке в течение всего периода геологического развития региона. На протяжении архей-протерозойского времени они неоднократно испытывали метаморфизм, были повсеместно мигматизированы, смяты в складки различных амплитуд и прорваны интрузиями гранитов. В результате совокупного взаимодействия всех этих процессов породы ладожской формации приобрели современный облик гнейсов, а на отдельных участках были превращены в граниты.

По данным В.В. Лыгиной, Г.М. Саранчиной (1964), эти древние породы представлены в основном мигматизированными биотит-гранатовыми гнейсами, постепенно переходящими в мигматизированные биотитовые гнейсы. Главными минералами гнейсов являются: биотит (до 50%), кварц (до 35%), андезин № 39-44 (до 35%), гранат альмандинового ряда (около 15-20%), который в биотитовых гнейсах либо вовсе исчезает, либо присутствует в весьма незначительных количествах. Из второстепенных минералов можно отметить апатит, циркон, включенный в биотит, сфен и некоторые сульфиды, например, пирит и халькопирит.

Остальные изверженные горные породы северо-восточного комплекса являются более молодыми и также характеризуются неоднородностью и сложностью своего вещественного и минерального состава. Среди них преобладающими являются светлоокрашенные разности метаморфизованных гранитов, гранитоидов и мигматитов, имеющих чаще всего мелкозернистую бластогранитную структуру. Значительно реже здесь встречаются розовые крупнозернистые микроклиновые граниты и генетически связанные с ними лейкократовые гранитоиды (аплиты), встречающиеся в виде дайк и жил.

Основными минералами этих горных пород являются: кварц, калиевый полевой шпат, плагиоклаз (чаще олигоклаз-андезитового ряда), биотит. К числу второстепенных минералов можно отнести: гра-

нат альмандинового ряда, апатит, сфен, циркон, мусковит, хлорит, эпидот, кальцит, турмалин, рудные минералы (пирит, магнетит и др.).

Все эти горные породы северо-восточного комплекса выходят обычно на поверхность в виде сельг и сельговых гряд, которые очень слабо подвергаются процессам выветривания, так как слагающие их породы отличаются своей относительной устойчивостью к физико-химическим и механическим воздействиям. При взятии образцов от них с большим трудом удается отколоть кусок породы. Именно поэтому на вершинах и в углублениях сельг больших скоплений обломков элювия этих пород не наблюдается.

Образование второго, северо-западного комплекса магматических горных пород, относят к протерозойскому времени. По данным Д.А.Великославенского (1953), он сложен в основном протерозойскими сильно трещиноватыми гранитами-рапакиви, известными также и под названием выборгитов. Это преимущественно крупнозернистые биотито-роговообманковые или биотитовые граниты. Структура этих горных пород неравномерно-зернистая порфиоровидная. В основной массе гранита резко выделяются крупные яйцеобразные зерна полевых шпатов (микроклин), отороченных олигоклазовой оболочкой. Мелкокристаллическая масса породы в основном составлена из кварца, плагиоклаза, биотита и роговой обманки. Из второстепенных минералов наблюдаются: мусковит, циркон, флюорит и другие акцессории.

В отличие от архейских пород северо-восточного комплекса граниты-рапакиви легко выветриваются, рассыпаясь обычно в дресву, и обладают сильной трещиноватостью. Вследствие этого выходы этих пород на дневную поверхность более сглажены, а сельги и сельговые гряды имеют здесь вид массивных холмов и увалов с плоской или куполообразной вершиной и пологими склонами. Результат такого относительно легкого разрушения можно наблюдать на склонах сельг в виде прерывистого покрова мощностью до 50 см, а также в виде скоплений обломков этого материала в межсельговых понижениях.

Обнаженность кристаллических горных пород докембрийского фундамента обоих комплексов северной части перешейка в среднем, можно сказать, хорошая, так как обычно эти породы слагают все господствующие формы рельефа и могут наблюдаться повсеместно под незначительным и прерывистым чехлом молодых четвертичных отложений. По данным И.В.Барканова (1967), преобладающая мощность четвертичных отложений в этой части перешейка колеблется в пределах от 3-6 м и 0-10 м до 10-20 м, а в депрессиях отложения достигают мощности от 13 до 40 м. Эти поверхностные образования являются в основном

продуктами былой ледниковой эпохи и представлены главным образом сильно завалуненными песками и супесями так называемой "верхней" морены последнего оледенения.

Южная и значительно большая по размерам часть Карельского перешейка по характеру своего геологического строения сильно отличается от его северной части. Здесь докембрийский складчатый фундамент не выходит на дневную поверхность, так как прикрыт платформенным осадочным чехлом различной мощности. В этой части перешейка породы кристаллического фундамента постепенно погружаются на юг и юго-восток под толщи более молодых палеозойских пород Русской плиты. Так, в районе г. Ленинграда докембрийские породы залегают на глубине около 200 м, а на южной границе перешейка они лежат от поверхности уже на глубине до 300-400 м и по мере погружения перекрываются все более полными разрезами коренных дочетвертичных пород. Причем выступы и впадины сложного рельефа архей-протерозойского фундамента в определенной мере влияют на величину мощности этого дочетвертичного осадочного чехла.

Дочетвертичная кровля фундамента представлена в основном нижнекембрийскими отложениями валдайского комплекса, мощность пород которого в пределах перешейка может достигать местами величины более 150 м. Этот комплекс горных пород включает в себя гдовский и ламинаритовый горизонты, не содержащие органических остатков, которые бы позволили определить их возраст. И кроме того, если отложения гдовского горизонта встречаются широко и представляют собой пачки ритмично чередующихся глин, алевролитов, песчаников и песков, то отложения ламинаритового горизонта на большей части перешейка были размывы в дочетвертичное и четвертичное время и наблюдаются в разрезах лишь его юго-восточной части. Они достигают здесь мощности до 100 м и характеризуются довольно однородным глинистым составом, тонкой слоистостью, наличием ламинаритовых пленок битума, повсеместным нахождением пирита и сидерита, позволяющим считать, что накопление этих отложений происходило в восстановительных условиях мелководного, застойного, опресненного бассейна.

Отложения валдайского комплекса перекрыты фаунистически охарактеризованными синими глинами балтийского комплекса, мощность которого на юге перешейка достигает 150 м. Отложения балтийской толщи представлены надламинаритовыми песками и песчаниками, синими кембрийскими глинами и песчаниками с прослоями глин. В пределах Приневской низины непосредственно на балтийской толще залега-

ит фукоидные, оболочные и диктионемовые отложения мелководного ордовикского морского бассейна, общая мощность которых равна нескольким метрам.

Все эти коренные породы южной части перешейка в основном скрыты под аккумуляциями четвертичных отложений и выходят на дневную поверхность лишь по единичным уступам рек и озер. Несколько большее развитие кембрийские породы получают только в наиболее возвышенной части перешейка, в так называемом Центральном плато. А так как в своем составе они содержат значительные концентрации пирита и сидерита, то, естественно, сильно влияют на состав почвенных и грунтовых вод, а с ними, и на процессы миграции железа и других, связанных с ним элементов.

Четвертичные отложения в южной части Карельского перешейка, в отличие от северной, покрывают коренные породы почти сплошным плащом. Мощность их довольно изменчива и особенно велика в пределах древних долин, где она может достигать около 100 м. Генетически четвертичные отложения очень разнообразны и представлены ледниковыми, водно-ледниковыми, озерными, болотными, морскими, аллювиальными и золовыми образованиями. Древнейшими из них являются водные осадки, которые залегают на размытой поверхности палеозойских и докембрийских пород. Эти отложения перекрываются четырьмя различными по возрасту моренами, которые, в свою очередь, разделены между собой тремя межморенными горизонтами.

Наиболее полно разрезы четвертичных отложений представлены в депрессиях древнего рельефа. При этом характерной чертой даже наиболее полных разрезов четвертичных отложений является наличие лишь одного палеонтологически охарактеризованного межморенного горизонта. Таким маркирующим горизонтом являются мгинские морские отложения последнего (микулинского) межледникового времени, которые достаточно широко распространены на перешейке.

По данным Ю.А.Савинова, В.П.Романовой (1967), непосредственно на мгинских слоях лежат ледниковые отложения последнего Валдайского (вюрмского) оледенения, среди которых выделяют еще целый ряд стадияльных и межстадияльных подгоризонтов. На этих ледниковых отложениях развит чехол более молодых послеледниковых образований, формирование которых, как считают, происходит на территории перешейка последние 10-12 тыс лет.

По литологическому составу четвертичные отложения также весьма разнообразны. Здесь можно встретить: пески, пески с гравием и галькой, супеси и пески со щебнем и валунами, суглинки, глины, лен-

точные глины, суглинки и супеси со щебнем и валунами, торф. Минералогический состав как песчаных, так и глинистых разностей в целом также значительно разнообразен. В легкой фракции можно наблюдать в переменных количествах кварц (до 57%), полевые шпаты (до 49%), биотит (до 8%), мусковит (до 8%) и др. В составе тяжелой фракции можно встретить рудные минералы (до 60%), эпидот (до 29%), амфибол (до 24%), гранат (до 19%), циркон (до 3,5%), рутил (до 1,5%), биотит (до 1,5%), апатит (около 1%), сфен (около 1%), а также в еще меньших количествах — турмалин, гиперстен, диопсид и др. Причем само соотношение легкой и тяжелой фракций минералов можно оценить в среднем для этих отложений как 100:1 и более. Иными словами, можно сказать, что четвертичные отложения южной части перешейка в основном состоят из минералов легкой фракции.

Весьма сложные и достаточно противоречивые черты геологического строения, кратко рассмотренные нами, не позволяют в полной мере и достаточно детально воссоздать всю историю развития Карельского перешейка. Это затруднительно еще и потому, что в формировании особенностей его геологического строения принимали непосредственное участие одновременно тектонические, метаморфические, денудационные, ледниковые и другие факторы, которые действовали в былые эпохи в самых разных направлениях и с различной силой. С другой стороны, все эти факторы вместе взятые и явились теми основными причинами, которые определили современные формы и черты строения его поверхности. Поэтому отражение былых эпох и процессов находят не только в минералого-петрографических и литологических особенностях перешейка, но и в строении его рельефа и тектонике.

Современный рельеф перешейка возник благодаря сложному и длительному воздействию двух групп факторов — эндогенных и экзогенных. К главным из них относят тектонику и денудацию, а к второстепенным — процессы эрозии и абразии, аккумуляции и заболачивания. Причем одно из основных мест в истории формирования его поверхности отводят сложной эпохе последнего оледенения, во время которой экзарационно-аккумулятивная деятельность ледника достаточно тесно переплеталась с последующими воздействиями процессов абразии берегов поздне- и послеледниковых водных бассейнов, неоднократно менявших свой уровень и очертания.

Правда, некоторые исследователи (Знаменская, Романова, 1966), хотя и отводят определенную роль во влиянии на рельеф перешейка процессам дизъюнктивной тектоники и ледниковым факторам, все же основную и ведущую роль в формировании рельефа придает геологиче-

ской структуре складчатого типа, породы которой, благодаря их неоднородному минералого-петрографическому составу, испытали со временем интенсивное воздействие процессов избирательной денудации.

В настоящее время всю историю формирования рельефа перешейка можно подразделить на три основных этапа: доледниковый, ледниковый и послеледниковый.

В доледниковый этап (дочетвертичное время) формирование рельефа перешейка происходило в условиях неравномерного тектонического поднятия территории (особенно в области развития Балтийского щита), выветривания древних пород и сноса продуктов выветривания. При этом в северной части перешейка сформировался денудационно-тектонический рельеф на кристаллических породах, а в южной части — структурно-денудационный рельеф, сложенный наклонно залегающими палеозойскими осадочными породами различной твердости. В это время образовалась котловина Ладожского озера и впадина Финского залива, а также наиболее крупные скульптурно-денудационные формы рельефа перешейка — Вуоксинская низина, Центральная Карельская возвышенность и Приневская низменность.

В ледниковый этап (четвертичное время) степень и направление влияния рельефообразующих факторов на перешейке, связанных с ледниковой эпохой в целом, оценить в настоящее время очень трудно, так как еще многие вопросы стратиграфии и палеогеографии этого периода остаются дискуссионными. Однако можно сказать, что холмисто-моренный и камовый рельеф перешейка возник во время ледникового этапа его формирования. В заключительную фазу последнего оледенения, во время таяния ледника (12,5—10,0 тыс лет тому назад), Центральная Карельская возвышенность являлась островом обширного приледникового водоема. Следы абразионно-аккумулятивной деятельности этого водоема достаточно отчетливо выражены в виде серии террас на склонах этой возвышенности и на побережьях Финского залива и Ладожского озера (Савинов, Романова, 1967).

В послеледниковый этап развитие рельефа территории перешейка происходило под влиянием эрозионно-аккумулятивной деятельности рек, абразии и аккумуляции озерных и морских водоемов, эоловой деятельности и торфообразования. Большую роль играло неравномерное эпигерогеническое поднятие этой территории, в особенности на севере. Считают, что именно в результате этого неравномерного поднятия 5—6 тыс лет назад прекратил свое существование пролив в районе г. Выборга, соединявший в то время Ладожское озеро с литориновым морем, предшествовавшим Балтийскому морю. Кроме того, произо-

шло значительное поднятие северной части Ладожского озера, что вызвало обширное перемещение его водных масс к югу и затопление южного побережья. В результате этой трансгрессии 4,5-5 тыс. лет тому назад образовалась нынешняя р.Нева (Савинов, Романова, 1967).

В различных частях Карельского перешейка каждый из этих этапов развития рельефа проявился по-разному, что и обусловило формирование различных типов рельефа.

В северной части перешейка в настоящее время мы наблюдаем значительную пересеченность рельефа, проявляющуюся в чередовании скалистых гряд (сельг). Эти гряды имеют на себе следы экзарационной деятельности ледника и разделены друг от друга долинообразными понижениями, заполненными молодыми четвертичными отложениями. В этой части перешейка достаточно отчетливо выражены два основных направления тектонических линий - северо-западное и северо-восточное. По этим направлениям в большей своей части и ориентированы водоразделы, речные долины, береговые линии и впадины озер (Знаменская, Романова, 1966).

Характерной особенностью современного рельефа южной части перешейка являются пологохолмистые очертания поверхности, созданные ледниковыми аккумуляциями довольно значительной мощности. Ледниковые отложения не повторяют пассивно бывшие формы доледниковой поверхности, а наоборот, создают свои особые формы и очертания холмисто-моренного и камового рельефа, хотя большую роль при этом продолжает играть структурный план фундамента. Пересеченность рельефа здесь небольшая. Преобладающие относительные колебания высот этой части перешейка в среднем равны 5-15 м. Камы имеют разнообразные формы и сложены песчаными осадками, имеющими горизонтальную, диагональную, косую и выклинивающуюся слоистость, что указывает на различный их генезис. Принято считать, что камы образовались как путем заполнения песчаным материалом ледниковых трещин и расколов, так и в результате накопления песчаных осадков во внутриледниковых озерах.

Основные черты климата и гидрографии

Территория перешейка входит в состав Атлантической климатической области (Овчинникова, 1966). Наиболее характерной чертой циркуляционных процессов здесь является западный перенос, который обуславливает преобладание воздушных масс, поступающих с Атланти-

ки (морского умеренного воздуха). Наряду с этим довольно часты вхождения арктического воздуха. Смена масс воздуха осуществляется обычно в результате циклонической деятельности, особенно интенсивной в холодный период года. В теплый период, когда циклоническая деятельность ослабевает и в формировании климата усиливается роль радиационных факторов, учащаются процессы трансформации морского умеренного и арктического воздуха в континентальный умеренный воздух.

Таким образом, климат Карельского перешейка формируется под воздействием умеренных и арктических масс воздуха (как морских, так и континентальных) и циклонической деятельности. В результате же интенсивной циклонической деятельности и частой смены воздушных масс режим погоды на территории перешейка характеризуется крайней неустойчивостью.

При выносе атлантических масс формируется циклонический тип погоды — облачная ветреная погода с оттепелями и частыми снегопадами в холодную половину года и с затяжными морозящими дождями — в теплую. Таких дней в году бывает в среднем около 140. С воздушными массами атлантического происхождения в холодную половину года поступает значительное количество тепла (добавочно к радиационному), за счет которого смягчается зима, минимум температуры в годовом ходе смещается с января месяца на февраль, а осень оказывается теплее весны, как это имеет место в районах с морским климатом. Вхождение атлантических масс летом, наоборот, сопровождается понижением температуры. В этот период охлаждающее влияние Атлантики связано не только с непосредственным воздействием относительно холодных атлантических масс, но и с увеличением облачности при прохождении циклонов, а следовательно, с уменьшением прихода радиации.

Территория перешейка в теплое время года получает довольно большое количество тепла, но большая его часть (не менее 2/3) тратится на испарение. Годовой приход суммарной солнечной радиации составляет около 80 ккал/см², а радиационный баланс — порядка 30 ккал/см²/год. В широтном направлении показатели радиационного режима территории перешейка изменяются постепенно и весьма незначительно. Так, по сравнению с северной границей перешейка количество суммарной солнечной радиации на его юге возрастает всего лишь на 4 ккал/см². Причем поступление солнечного тепла в зимнее время года к поверхности перешейка мало и оценивается величинами 0,6–0,9 ккал/см². В результате взаимодействия радиационных и цир-

куляционных факторов на Карельском перешейке формируется умеренно холодный климат, переходный от морского к континентальному, с продолжительной сравнительно мягкой зимой и коротким прохладным летом. Средняя температура самого холодного месяца (февраль) от 7,5 до 9,0°C, а самого теплого месяца (июль) – от 15,5 до 17°C.

Режим увлажнения перешейка определяется его положением в географической зоне избыточного увлажнения и характеризуется довольно большим количеством выпадающих осадков (550–850 мм в год), относительно умеренными величинами испарения (порядка 350 мм в год), высокой влажностью воздуха и большой облачностью. При этом поддержанию высокой влажности воздуха несомненно способствует наличие таких больших водоемов, как Ладожское озеро и Финский залив, а также обилие более мелких водоемов и водотоков на самом перешейке. Но поскольку температура воздуха на большей части рассматриваемой территории держится выше 0°C 210–220 дней в году, вода здесь находится в состоянии жидкой фазы в течение довольно продолжительного времени.

В пределах Карельского перешейка, несмотря на его сравнительно небольшую площадь; наблюдаются довольно существенные различия климатических условий, которые связаны с физико-географическими особенностями подстилающей поверхности (Захарова, 1957). Так, возвышенные центральные районы перешейка отличаются пониженными температурами и повышенным количеством осадков. Побережья Финского залива и особенно Ладожского озера испытывают отепляющее воздействие водоемов осенью и охлаждающее – весной. При этом побережье Финского залива летом значительно теплее, чем прибрежные участки, прилегающие к Ладожскому озеру, так как Ладога, как более глубокий водоем, прогревается относительно мелководного залива медленнее и потому снижает температуру в прибрежных участках не только весной, но и летом. Так, например, суммы температур выше 10°C в прибрежных районах Финского залива составляют 1700–1750°, тогда как на побережье Ладоги они снижаются до 1450–1500°. Зимой, наоборот, самыми теплыми оказываются участки, прилегающие к Ладожскому озеру. В прибрежных районах меньше облачность, больше часов солнечного сияния, пониженное количество осадков, повышенные скорости ветра.

Подобное соотношение особенностей термического режима и увлажнения, которое свойственно Карельскому перешейку, является довольно специфической чертой всех гумидных областей, что позволяет нам отнести все протекающие на его территории процессы седименто-

и литогенеза к гумидному типу. Это, в свою очередь, заставляет нас ожидать на перешейке значительное переплетение механических, физико-химических и биологических частных процессов, а с ним — и большую сложность геохимических процессов, протекающих в его ландшафтах.

Особенности геолого-геоморфологического строения территории Карельского перешейка, гумидности его климата и остаточные явления от ледникового и послеледникового этапов истории его развития обуславливают своеобразие и в характере гидрографической сети, отличительной особенностью которой является обилие озер. Можно сказать, что общей региональной чертой ландшафтов Карельского перешейка является их высокая озерность, позволяющая отнести эту территорию к классическому озерному краю.

Число озер перешейка, по данным Р.А.Филенко (1957), насчитывается свыше 700 при общей площади их водной поверхности около 710 км². В среднем озерность перешейка равна 5,2% с увеличением в северной его части до 15–20% и резким снижением в прибрежной его полосе до 0,5%, что связывают с сильным наклоном поверхности этой полосы к морю, вследствие чего воды не задерживаются в относительных понижениях местности, а стекают в виде рек и ручьев. В северной части перешейка число озер на 1000 км² превосходит тот же показатель для таких озерных стран, как Швеция и Финляндия. Южную часть перешейка также можно отнести к классическому озерному краю, так как она входит в состав Северо-Западной ландшафтной области, которая, по мнению А.Г.Исаченко и др. (1965), является наиболее озерной из всех ландшафтных областей Русской равнины.

Морфологические особенности озерных котловин в основном отображают их происхождение, хотя их первоначальные черты строения сильно изменены последующими процессами. На севере перешейка большинство озерных котловин вытянуто с северо-запада на юго-восток, что обусловлено, по-видимому, наличием тектонических трещин, имеющих, как известно, в пределах Балтийского кристаллического щита в основном то же направление. На юге перешейка формы озерных котловин возможно и имеют тектоническое происхождение, но они настолько преобразованы воздействиями льдов и ледниковых вод в период четвертичных оледенений, а также процессами заиления, зарастания их берегов и заболачивания, что установить их генезис по внешним признакам порою очень трудно. Однако следует отметить, что в южной части перешейка происхождение озерных котловин все же преимущественно связано с ледниковыми факторами, так как в основном

озера располагаются в котловинах между моренными холмами или же имеют подпрудное происхождение. Вдоль побережий Финского залива и Ладожского озера можно встретить озера лагунно-лиманного типа.

Учитывая морфологию озерных котловин, историю их возникновения, а также результаты предыдущих исследований в этом направлении (Филенко, 1960; Грейсер, 1965; Березкина, Малясова, Тарновский, Филенко, 1966), все озера Карельского перешейка можно подразделить на три основные группы:¹

I — озера, приуроченные к тектоническим линиям разломов (Дымовское, Красавица, р. Вуокса и др.);

II — озера ложбинного типа, моренные, межморенные и камовые (Глухое, Лопата, Вишневское, Кирилловское и др.);

III — озера лагунно-лиманного типа, отшнуровавшиеся от Финского залива и Ладожского озера (Петровское, Утиное, Суури и др.). Озера Карельского перешейка в основном проточные, часто объединяющиеся протоками в сложные озерно-речные системы. Так, по данным Р.А. Филенко (1960), в статистической совокупности из 233 озер наблюдается: проточных озер 153 (68,6%), сточных озер 37 (16,6%) и глухих 33 (14,8%). Средняя глубина озер обычно не превышает 5 м, а максимальная — 25–35 м. Преобладающую роль на перешейке играют малые озера с площадью водной поверхности от 0,2 до 1,0 км², сохранившиеся до настоящего времени благодаря молодости озерно-речной сети, которая не успела еще спустить их или заполнить наносами. Свидетельством молодости речной сети является также ее слабая разветвленность и небольшая глубинная врезанность.

Для своих потоков речная сеть перешейка использует в основном долины ледникового выколаживания и зону тектонических разломов. Это создает здесь для речной сети характер наложенной картины с параллельной группировкой водных артерий и их вытянутостью с северо-запада на юго-восток, лишь изредка усложняющейся появлением поперечных, боковых притоков. Речная сеть перешейка в основном представлена небольшими реками или же неглубокими и короткими протоками. Густота речной сети неравномерная. В центральной части перешейка она колеблется в пределах 0,10–0,14 км на км², а в его северной части и в районе Центральной возвышенности — от 0,18 до 0,22 км на км².

Самой большой рекой Карельского перешейка является р. Вуокса длиной в 150 км. Она соединяет Сайменские озера, находящиеся на

¹ В качестве примеров здесь приведены те озера, осадки которых изучены автором.

территории Финляндии, с Ладожским озером, протекая большую часть своего пути по Карельскому перешейку. Площадь ее водосбора равна около 69,5 тыс км². Причем около 19% этой площади составляют озера. Остальные реки, хотя и являются малыми как по величине, так и по водоносности, также отличаются большой озерностью, что позволяет это считать одной из специфических и важных черт речной сети перешейка. Обычно, говоря о речной сети Карельского перешейка, следует подразумевать не систему рек, а систему озер, переливающихся друг в друга или же истекающих в море или Ладожское озеро. Второй особенностью речной сети Карельского перешейка является ступенчатость продольных профилей его рек, которая проявляется в чередовании выравненных участков, соответствующих современным озерам, и коротких перепадов с каменистыми порогами и стремнинами. Это, в свою очередь, говорит о плохой выработанности продольного профиля рек перешейка.

Эрозионная деятельность поверхностных вод Карельского перешейка не отличается интенсивностью, хотя и происходит при постепенном и неравномерном эпейрогеническом поднятии Фенноскандии, обуславливающим общий уклон поверхности озерного плато Финляндии в сторону перешейка. В северной части перешейка она весьма незначительна, что связано как с составом и свойствами кристаллических горных пород, слагающих поверхность, так и с наличием озеровидных расширений и озер, играющих роль отстойников. Поэтому мутность рек в этой части перешейка невелика и часто не превышает 20 г/м³, а в р. Вуоксе она и того ниже. Минерализация речных вод также мала и не превышает 81 мг/л. В южной же части перешейка эрозионные процессы развиты сильнее, чем на территории распространения кристаллических пород. Об этом свидетельствует здесь большая мутность рек, которая достигает 50 г/м³ и более. Причем во взвешях водотоков существенное значение имеет органическая составляющая, общее содержание веществ которой доходит до 50%. Общая минерализация вод южной части доходит до 115 мг/л (Филенко, Березкина, 1969). Величина коэффициента поверхностного склонового стока для территории перешейка может быть оценена лишь приблизительно равной 0,20. В северной части перешейка коэффициент стока в среднем можно принять равным 0,30, хотя на самом севере этой части коэффициент стока доходит до значений 0,5-0,6. В южной части перешейка величина коэффициента поверхностного стока в среднем составляет около 0,10. Однако в питании рек и озер здесь большую роль играют грунтовые воды, которые преимущественно и формируют русловый сток. Это может быть объяснено характером литологического состава четвертичных от-

ложений, представленных в основном песчаными разностями, их большой водоносностью, неглубоким залеганием уровня грунтовых вод и сравнительно хорошей дренированностью их гидрографической сетью.

Кроме физико-географических факторов на формирование режима стока большое влияние оказывает хозяйственная деятельность человека, в результате которой не только происходит изменение направления стока, но и создание новой мощной и разветвленной гидрографической сети, увеличивающей поверхностный сток на перешейке.

Таким образом, гумидность климата перешейка в сочетании с замедленным стоком поверхностных вод и относительно пониженной дренирующей способностью речной сети в целом — все это вместе взятое создает на его территории длительное застаивание поверхностных вод и, как следствие, сезонное переувлажнение почвогрунтов. В свою очередь, эти застойные воды часто смыкаются с горизонтом грунтовых вод и вызывают заболачивание территории. Поэтому болота, занимающие около 5,0% территории перешейка, также являются одной из характерных особенностей его ландшафтов (Абрамова, 1959). Среди болот преобладающим типом являются верховные болота со значительным развитием грядово-мочажинных и грядово-озерных комплексов и реже — сосново-моршкovo-пушицево-кустарниковые бугристые болота. Обширные массивы болот первого типа распространены в юго-восточной и центральной части перешейка, что связано со слабым дренажом водоразделов и относительной равнинностью рельефа при высоко залегающем водоупоре из ленточных глин. Бугристые комплексы верховных болот с господством сфагнома и крупных болотных кустарников встречаются на водоразделах в центральной и южной части перешейка (среди кам и морен, в различных понижениях местности). Низинные и переходные болота занимают около 36% болотной площади перешейка и наблюдаются в различных его частях в условиях расчлененного рельефа, на дне обсохших протоков и озерных котловин, в приозерных понижениях.

Особенности почвенно-растительного покрова

В почвенном покрове перешейка господствующее положение занимают подзолистые почвы. Однако для этих почв на перешейке характерно слабое и зачастую весьма поверхностное развитие подзолообразовательного процесса, в результате чего подзолистый горизонт нередко и вовсе исчезает (Рожнова, 1963). При этом над подзолистым горизонтом формируется своеобразный темно окрашенный перегнойно-

аккумулятивный горизонт A_1 , содержание гумуса в котором колеблется от 3,0 до 8,0%, а в ряде случаев - более 10,0%.

Следует отметить, что сравнительно высокое содержание органического вещества в почвах Карельского перешейка является одной из характерных особенностей его почвенного покрова. Особенно большое значение при этом имеют здесь процессы образования подвижных воднорастворимых органических соединений. Они развиваются благодаря широкому распространению на поверхности перешейка грубозернистых наносов, которые легко фильтруют поверхностные растворы и создают на некоторой глубине почвенного профиля благоприятные условия для формирования иллювиально-гумусовых горизонтов вымывания. Поэтому на перешейке преобладают почвы с вымытыми гумусово-железистыми и железисто-гумусовыми горизонтами. Эти горизонты почв резко очерчены, либо, наоборот, сильно растянуты и окрашивают довольно значительную толщу. При этом содержание вымытого гумуса в почвах перешейка выше, чем это обычно наблюдается для почв таежных подзон (Рожнова, 1963).

Другой особенностью почвенного покрова Карельского перешейка является характерная мобилизация железа в процессе почвообразования. Железо здесь проявляет большую миграционную способность, чем кальций, который остается почти инертным в составе почв и пород. Оно достаточно легко выносится из широкораспространенных здесь слабыветрелых и богатых первичными минералами почвообразующих пород, заметно концентрируется в растительности и почвенных горизонтах, а также замещает собой роль кальция в процессе закрепления гумусовых веществ. В связи с этим считают, что Карельский перешеек представляет собой наиболее типичную "железистую" геохимическую провинцию (Пономарева, 1959).

Помимо осаднения в почвах железистых соединений и накопления в них сравнительно высоких содержаний органического вещества, характерной особенностью почв Карельского перешейка является также и повышенная их кислотность (наиболее часто встречающиеся значения $pH - 3,0; 5,0$).

Среди подзолистых почв перешейка Т.А.Рожнова (1963) различает: собственно подзолистые, дерново-подзолистые и перегнойно-подзолистые. В пределах каждого подтипа наблюдаются почвы, которые различаются между собой по степени подзолистости, оглеения, аккумуляции гумуса, железа и другим факторам.

Кроме подзолистых почв, среди которых наибольшее развитие имеют дерново-подзолистые почвы, на Карельском перешейке выделены

еще и подзолисто-болотные, собственно-болотные и примитивно-аккумулятивные почвы.

Для северной части перешейка специфичны примитивно-аккумулятивные почвы, которые формируются обычно на малоэффективном элювио-дедукции кристаллических пород под пятнами литофильной растительности. Они характеризуются наличием мелкозернистой оторфованной массы высокой кислотности ($pH - 3,0; 3,5$) и относительно высоким накоплением железа, алюминия и кремнезема (Рожнова, 1963). Кроме примитивно-аккумулятивных почв в северной части перешейка господствуют перегнойно-слабоподзолистые супесчаные, дерново-подзолистые суглинистые (нередко оглеенные), подзолистые иллювиально-железисто-гумусовые супесчаные и песчаные почвы. Реже здесь встречаются болотные почвы, которые формируются обычно пятнами в замкнутых и не имеющих стока межсельговых ложбинах, а также на верховых и низинных болотах (моховых, сфагновых, редко - осоково-травянистых). Разновидностью болотных почв являются сильно ожелезненные охристые торфяно-глеевые почвы, которые формируются на так называемых ключевых болотах.

В южной части перешейка наиболее широкое распространение имеют дерново-слабоподзолистые и дерново-подзолистые иллювиально-гумусово-железистые почвы на супесях, песках и суглинках. Часто наблюдаются заболоченные почвы, обычно развитые пятнами. Однако на самой южной и юго-восточной окраине перешейка господствуют болотные почвы (на сфагновых болотах) и торфянистые песчаные подзолы. В районе Центральной Карельской возвышенности господствуют иллювиально-железисто-гумусовые почвы, которые формируются здесь благодаря сильному влиянию на состав почвенно-грунтовых вод пирит- и сидеритсодержащих пород дочетвертичного субстрата, о чем мы упоминали при описании геологических особенностей этого района.

Кроме рассмотренных типов почв на перешейке совершенно отдельно выделяется группа так называемых окультуренных почв. Эти почвы, хотя генетически и связаны с остальными, однако имеют свои отличительные особенности. В частности, профиль таких почв отличается слабой оподзоленностью, увеличением мощности гумифицированного горизонта и появлением нового пахотного горизонта. Однако относительно высокая кислотность этих почв снижает их плодородие, повысить которое удастся прежде всего осушением избыточно увлажненных почв и известкованием.

Таким образом, на Карельском перешейке воздействие зональных природных условий на формирование почв определяет их преимущественное развитие по подзолистому типу, однако отмеченные ранее азо-

нальные факторы, а также хозяйственная деятельность человека, формируют качественно новые их признаки и создают другие типы почв.

Растительные сообщества тесно взаимосвязаны своим формированием с почвообразовательными процессами. Причем в растительности, так же, как и в почвах, наблюдается яркое проявление аazonальных факторов, действующих, конечно, на общем фоне зональных процессов. Поэтому в растительном покрове перешейка наблюдаются свои индивидуальные особенности. Одной из них следует считать относительную молодость растительности.

Так, Е.С.Малысовой (1959) на основе спорово-пыльцевого анализа удалось показать, что на Карельском перешейке геоботанические районы начинают складываться лишь с атлантического времени голоцена, хотя начало формирования современного растительного покрова перешейка должно быть отнесено к более древним отрезкам позднеледникового времени. При этом неоднократная миграция на перешеек новых видов растительности в поздне- и послеледниковое время, находивших здесь подходящие условия для своей жизни в различной обстановке, способствовала наслоению различных флористических комплексов друг на друга, остатки ассоциаций которых достаточно широко представлены и в настоящее время. Поэтому в современной флоре Карельского перешейка принимают участие также арктические, субарктические и широколиственные элементы, что является другой отличительной чертой его растительности.

Карельский перешеек находится одновременно в двух различных геоботанических подзонах тайги, а точнее - в области темнохвойных лесов южнотаежной подзоны и контакта с границей средней тайги. Причем здесь наблюдается островной характер перехода между этими подзонами, а также их инверсия, что обусловлено как влиянием аazonальных природных условий перешейка, так и историей его развития. В связи с этим в распределении средне- и южнотаежных растительных ассоциаций отмечается аномальный характер, и, вместе с тем, на перешейке встречаются элементы растительности и более южных подзон.

Большая часть территории Карельского перешейка покрыта лесами, которые занимают около 70% его площади (Абрамова, Козлова, 1957). Преимущественно они представлены сосновыми и в меньшей степени еловыми лесами южнотаежного типа. Еловые леса, хотя и являются здесь коренными, в значительной своей части сменились сосновыми и мелколиственными лесами из-за влияния неоднократных пожаров и вырубок. Еловые леса широко представлены южнотаежными ельниками-зеленомошниками (кисличниками и черничниками) и ельника-

ми травяными. Они развиваются в условиях более богатой минеральной среды и относительно повышенного увлажнения. Наиболее крупные площади еловых лесов сосредоточены в северо-западной части перешейка (в районе развития гранитов рапакиви) и на территории Центральной Карельской возвышенности.

Среди сосновых лесов, которые преобладают на перешейке, коренными считают сосняки лишайниковые на скалистых возвышенностях и сосняки болотно-кустарничково-сфагновые, развитые на задровых и озерных равнинах. Сосняки-зеленомошники и травяные сосняки являются вторичными. Благодаря тому, что сосняки могут произрастать и на бедных песчаных и супесчаных почвах, на болотах и на выходах кристаллических горных пород, их формация является обычно господствующей среди других формаций лесной растительности.

Среди хвойных лесов наблюдается постоянная примесь березы, реже встречается осина, ольха. Под пологом леса наблюдается обилие травяного покрова (вейник, орляк, калган, марьяник лесной, луговик и др.) и относительно слабое развитие мохового покрова. Вторичные мелколиственные травянистые леса (обычно березовые и осиновые) приурочены к более влажным местообитаниям, чем еловые и сосновые. Они растут на приозерных низинах, на нижних частях склонов сельг и моренных гряд.

В северной части перешейка, которая изобилует выходами на дневную поверхность кристаллических горных пород, наблюдается определенное своеобразие растительного мира. Здесь резко выражена комплексность растительного покрова и местами появляются широколиственные породы (дуб, клен). В этой части перешейка развиты еловые, елово- и сосново-березовые орляково-травянистые леса с примесью широколиственных. Сочетания же осветленных флористически обогащенных лесов с комплексами ассоциаций сосняков на сельгах и типично скальных группировок (мхов, лишайников и папоротников), сближают северную часть перешейка с Южной Карелией.

Луга на Карельском перешейке имеют относительно широкое распространение и занимают около 11% площади (Козлова, 1956). В основном они вторичного происхождения и возникли на местах сеянных в прошлом лугов и посевов сельскохозяйственных культур. Луга разбросаны среди лесных массивов, болот и полей и обычно приурочены к наиболее выравненным элементам рельефа с хорошо развитыми и плодородными почвами (Алексеев, 1976). На месте старосеянных лугов развиты малопродуктивные мелкозлаковые, злаковоразнотравные и мелкокоразнотравные луга. Характерна флористическая пестрота луговых травостоев. В условиях переувлажнения некогда хорошо сеянные лу-

га замещаются щучковыми и мелкоосоковыми лугами. Большая часть лугов сильно заросла кустарниками и мелкоколосьем березы и серой ольхи, что уменьшает полезную площадь сенокосов и пастбищ.

С позиций геохимии ландшафта почвенный и растительный покров Карельского перешейка еще недостаточно изучен. До сих пор практически не исследованы закономерности миграции элементов в рядах геохимически сопряженных элементарных ландшафтов, а опубликованные данные о распределении содержания некоторых микроэлементов в почвах и отдельных видах растений носят обычно разрозненный характер и явно непригодны для совместного рассмотрения и обобщения. Однако даже такие отрывочные сведения указывают на то, что растительность перешейка чутко реагирует на сложившуюся здесь геохимическую обстановку и заметно отражает в своем химическом составе особенности поведения в ландшафтах типоморфных элементов. В частности, об этом свидетельствуют данные о степени биологического поглощения различными видами растений элементов семейства железа и меди, полученные нами при изучении ландшафтно-геохимического профиля оз.Суури - Ладожское озеро (северная часть перешейка, пос.Кузнечное) и обобщенные для некоторых растений в табл.3.

Т а б л и ц а 3

Средние значения КБП* элементов семейства железа и меди
для некоторых видов растений
северной части Карельского перешейка

Виды растений	Органы растений	Mn	Ti	Co	Ni	Cr	V	Cu
<i>Betula pubescens</i>	Листья	7I	0,04	5,6	26	0,14	-	2,4
	Стебли	46	0,10	10	25	0,80	-	5,1
<i>Pinus silvestris</i>	Листья	68	0,20	0,5	15	0,40	-	3,8
	Стебли	42	0,40	2,5	11	0,60	0,6	6,8
<i>Populus tremula</i>	Листья	20	0,03	11	9,2	-	-	2,4
	Стебли	2	0,02	1,7	8,5	-	-	3,2
<i>Juniperus communis</i>	Иглы	30	1,2	0,7	7	0,30	-	2,8
	Ветви	11	0,20	0,4	6,6	0,30	-	1,7
<i>Vaccinium myrtillus</i>	Листья	54	0,08	0,5	7,7	0,30	-	3,5
	Стебли	37	0,20	3	7	0,30	-	6,2
<i>Calamagrostis lanceolata</i>	Наземная часть	16	1,2	0,6	1,3	-	-	0,4
<i>Polytrichum commune</i>	В целом	12	17	1,3	4,7	1,2	23	2,7
<i>Cladonia rangiferina</i>	В целом	8	13	3,4	22	6,7	34	3,5

* КБП - коэффициент биологического поглощения элементов, показывающий отношение концентрации элемента в золе растения к концентрации его в почве или коре выветривания горной породы.

Обращает на себя внимание высокая степень биологического поглощения всех элементов этого семейства мохово-лишайниковой растительностью, которая здесь является пионером зарастания и отдельными пятнами покрывает выходы скального субстрата. В сложной цепи биологического круговорота элементов в сельгово-ложбинных ландшафтах перешейка именно лишайники и мхи представляют собой его начальное звено. Они непосредственно участвуют в разрушении кристаллических пород и минералов, переводя атомы слагающих их элементов в свободное состояние и захватывая при этом значительные их концентрации для своего питания. Другие растения расселяются в элементарных ландшафтах на участках с более благоприятными гидро-термическими или геохимическими условиями и обычно способны в той или иной степени избирательно поглощать и накапливать различные химические элементы. Однако некоторые химические элементы присутствуют в значительных концентрациях повсеместно, практически на всем протяжении ландшафтного профиля вплоть до аквальных элементарных ландшафтов и, видимо, в такой форме, которая легко усваивается растениями. На это указывают ряды возрастающего биологического поглощения элементов, выявленные нами для различных типов растительности:

Древесная	листья $V \rightarrow Ti \rightarrow Cr \rightarrow Cu \rightarrow Co \rightarrow Ni \rightarrow Mn$ стебли $V \rightarrow Ti \rightarrow Cr \rightarrow Co \rightarrow Ni \rightarrow Cu \rightarrow Mn$
Кустарниково- кустарничковая	листья $V \rightarrow Cr \rightarrow Co \rightarrow Ti \rightarrow Cu \rightarrow Ni \rightarrow Mn$ стебли $V \rightarrow Ti \rightarrow Cr \rightarrow Co \rightarrow Cu \rightarrow Ni \rightarrow Mn$
Травяная	$Cr, V \rightarrow Cu \rightarrow Co \rightarrow Ti \rightarrow Ni \rightarrow Mn$
Мохово-лишайниковая	$Co \rightarrow Cu \rightarrow Cr \rightarrow Mn \rightarrow Ni \rightarrow Ti \rightarrow V$

Очевидно, марганец, так же как и железо, является весьма энергичным мигрантом в ландшафтах перешейка.

Итак, природные условия Карельского перешейка характеризуются определенным разнообразием. Особенно велики различия между северной частью перешейка, лежащей в пределах окраинной части Фенноскандии, и его югом, расположенным на Северо-Западе Русской равнины. Стык этих двух географических областей является важным естественным рубежом, по обе стороны от которого развитие ландшафтов происходило в различных условиях.

В северной части перешейка ландшафты формировались в пределах окраинной части Балтийского щита в условиях расчлененного скалисто-рядового рельефа, возникшего в результате интенсивного воз-

действия процессов избирательной денудации на неоднородные по минералого-петрографическому составу горные породы и экзарационной деятельности ледника. Здесь архей-протерозойские кристаллические породы фундамента выходят на дневную поверхность в виде скалистых выступов - селыг и чередуются в пространстве с различными по мощности, генезису и составу верхнечетвертичными отложениями, заполняющими или чуть прикрывающими межсельговые понижения. В такого рода депрессиях часто встречаются озера и болота, возникшие после регрессии вод послеледниковых бассейнов. Своеобразие рельефа, трещиноватость кристаллических пород и особенности состава поверхностных образований, спародически их прикрывающих, приводит к возникновению различий в гидротермическом режиме почвогрунтов. Это обуславливает определенную пестроту в почвенном покрове, где среди типичных зональных подзолистых и дерново-подзолистых почв получают развитие скрыто- и слабоподзолистые, примитивно-аккумулятивные и болотные почвы. Пестрота местообитаний, в свою очередь, приводит к разнообразию сочетаний биоценозов, к своеобразию всего растительного покрова, к обособлению двух различных ландшафтов.

Развитие ландшафтов южной части перешейка, значительно большей по размерам, происходило на периферии территории Русской равнины в условиях полого-холмистых очертаний поверхности, сформировавшейся благодаря ледниковым аккумуляциям позднего и послеледникового времени, значительно изменившим первоначальную скульптуру поверхности и создавшим свои особые формы холмисто-моренного и камового рельефа. Кристаллические породы докембрийского фундамента здесь постепенно погружаются к югу под толщу осадочных кембрийских пород, которые, в свою очередь, почти повсеместно перекрыты достаточно мощными толщами рыхлых четвертичных отложений различного литологического состава и генезиса. Особенности рельефа и состава песчано-глинистых и валунных поверхностных отложений в сочетании с гумидностью климата создали благоприятные условия для обводнения этой части перешейка, возникновения большого числа озер и болот. Все это вместе взятое обусловило формирование своеобразного характера почвенно-растительного покрова и обособление здесь различных ландшафтов.

В связи с тем что ландшафтная обстановка оказывает сильное влияние на формирование донных отложений озер, то, вероятно, при сравнении состава и свойств озерных осадков северной и южной частей Карельского перешейка между ними следует ожидать проявления наиболее контрастных различий,

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР

В настоящее время для озер Карельского перешейка не существует исчерпывающей типологической классификации, основанной, как это предлагает Л.Л.Россолимо (1964), на таких обобщающих лимнологических характеристиках, которые бы достаточно полно и объективно раскрывали сущность превращения вещества и энергии в озере. Однако попытки классифицировать озера перешейка по одному какому-либо частному показателю, например на основе показателя термического режима или морфологии озерных котловин, имели место. В связи с этим при планировании настоящих исследований нами учитывалась классификация озер, основанная только на морфологии озерных ванн и истории их образования, которая предложена Р.А.Филенко во время совместной работы коллектива авторов (Березкина, Малясова, Тарновский, Филенко, 1966). Несмотря на то, что происхождение озер перешейка теснейшим образом связано с последним оледенением и среди них можно встретить наряду с собственно ледниковыми озерами еще и озера тектонического происхождения, по мнению Р.А.Филенко, все озера в зависимости от морфологии котловин могут быть подразделены на три основные группы.

К первой группе относятся озера, приуроченные к тектоническим линиям разломов (например, Дымовское, Красавица, залив Муниин-Лахти р.Вуокса и др.), которые широко развиты в северной части перешейка. В этой группе озер морфология котловин весьма проста: обычно узкие (максимальная ширина до 2,0 км) и длинные корыта (до 10 км), в основном ориентированные в направлении с северо-запада на юго-восток, с высокими и обрывистыми склонами (высотой 20-35 м), сложенными кристаллическими горными породами. Берега озер обычно покрыты сплошным кольцом соснового леса, который препятствует проникновению ветра и, следовательно, хорошему перемешиванию водных масс. Поэтому в летние месяцы в водных толщах этих озер прослеживается достаточно устойчивая термическая стратификация. Литораль таких озер сложена песками, каменистой россыпью, иногда подверже-

на процессам заболачивания. В профундали наблюдаются тонкодисперсные осадки, представленные в основном глинистыми илами голубовато-серого и голубого цветов. Как показали исследования, сколько-нибудь заметного накопления органического вещества в донных отложениях таких озер, даже в прибрежной части, где развита водная растительность, не наблюдается. Весьма незначительное содержание органического вещества отмечается в относительно неглубоких озерах данной группы, с максимальной глубиной не более 10 м (например оз. Дымовское - средняя глубина 5,0 м, содержание органических веществ в среднем около 3,6%).

В качестве примера литологических особенностей донных отложений таких озер можно рассмотреть разрез следующей колонки осадков, полученной нами при бурении скважины сквозь водную толщу залива р. Вуокса (в 500 м к северо-востоку от пос. Перевозное), которая, как известно, представляет собой систему озер тектонического и ледникового генезиса, соединенных протоками различной длины:

0,00-1,20	органо-минеральный или светлосерого цвета с зеленоватым оттенком;
1,20-1,60	минеральный или голубоватого цвета;
1,60-2,62	глинистый или серого цвета;
2,62-2,80	органо-минеральный или темно-коричневого цвета, резко отличающийся по плотности от вышележащего;
2,80-3,20	глинистый или серого цвета, плотный;
3,20-4,20	глина серого цвета, очень однородная, тонкослоистая, мощность слоев не более 1,5 мм;
4,20-7,30	глина серая, тонкослоистая, слои до 0,5 мм;
7,30-7,40	тонкозернистый песок с примесью глины, серый;
7,40-8,70	глина серая, тонкослоистая с примесью тонкозернистого песка в виде небольших линз;
8,70-9,60	глина светло-коричневого цвета, тонкослоистая;
9,60-10,10	глина светло-серого цвета, тонкослоистая, с чуть заметной примесью тонкого песка;
10,10-10,40	глина голубовато-серого цвета, тонкослоистая, слегка опесчаненная;
10,40-10,50	среднезернистый песок серого цвета, сортированный.

Содержание органического вещества в осадках этой скважины колеблется от 0,25 до 2,70% (среднее содержание около 1,5%), содержание углерода около 1,32%, а азота - 0,09%.

Ко второй группе озер, достаточно широко распространенных на перешейке, можно отнести озера, происхождение которых обусловлено в основном двумя факторами - эрозией и действием ледника. Среди них можно выделить три типа озер: ложбинные (оз.Лопата, Глухое и др.), межморенные (оз.Вишневское, Малое Кирилловское и др.) и камовые, которые имеют весьма малые размеры и обычно редко носят названия. Причем, камовые озера в большинстве случаев характеризуются воронкообразной формой, высокими песчаными склонами. Максимальные глубины у камовых озер достигают 30-35 м. Благодаря очень небольшим площадям водных зеркал и значительным глубинам в них хорошо выражена термическая стратификация водных масс. Донные отложения в них обычно представлены разнородными и илистыми песками, сносимыми со склонов метеорными водами. Только в относительно неглубоких камовых озерах можно наблюдать в верхних слоях отложений небольшой слой органических илов, часто состоящих из слаборазложившихся остатков прибрежной водной растительности.

Ложбинные озера по морфометрическим особенностям своих ванн очень близки к озерам первой группы. Котловины большинства таких озер имеют самую разнообразную форму с вогнутым либо плоским дном и высокими склонами (до 20 м). Максимальные глубины не превосходят 1,5-20,0 м, а наибольшая длина их около 12,5 км. В таких озерах устойчивая термическая стратификация вод может наблюдаться в летние месяцы лишь в наиболее глубоких и узких из них. Неглубокие, слабопроточные озера ложбинного типа (глубиной до 3-4 м) летом обычно прогреваются до самого дна. В прибрежной части неглубоких озер хорошо развита водная растительность (тростник, кубышка, хвощ, лилии и др.). Имеются острова, топкие пологие берега которых покрыты зарослями ольхи, ивы, реже березы. Более высокие берега озер заняты сосной или сосной с примесью ели. Иловые отложения слабопроточных и непроточных озер относительно первой группы заметно обогащены органическим веществом. Так, например, при изучении донных отложений оз.Лопата, где удалось извлечь на поверхность 5 колонок озерных осадков различной мощности (от 2,4 до 9,2 м), по всей площади дна озерные отложения уже заметно обогащены органическим веществом, концентрация которого в илах крайне непостоянна и меняется от места к месту и по разрезу скважин в пределах от 11,14% до 41,27% (скв.5). Литологические особенности озерных от-

ложений можно видеть на основе данных одной из колонок этого озе-
ра, отличающейся наибольшей мощностью:

- | | |
|---------|--|
| 0,0-2,9 | органо-минеральный плотный ил, оливкового цвета; |
| 2,9-3,0 | переходной слой органо-минерального ила к нижеле-
жащему, серовато-коричневато-го цвета; |
| 3,0-3,4 | глинистый ил серовато-коричневого цвета, очень од-
нородный, вязкий, пластичный; |
| 3,4-3,6 | тонкозернистый глинистый песок, серовато-коричне-
вого цвета, без каких-либо включений; |
| 3,6-3,8 | глина серовато-коричневого цвета с небольшими про-
слоями тонкозернистого песка (до I см); |
| 3,8-5,8 | глина серого цвета, весьма однородная, вязкая,
пластичная; |
| 5,8-6,3 | глина голубовато-серого цвета, плотная, однород-
ная, тонкослоистая (до I мм); |
| 6,3-8,0 | глина голубовато-серого цвета, слегка опесчанен-
ная, тонкослоистая (до I,5 мм), встречаются не до
конца разложившиеся органические остатки. |

По сравнению с озерными осадками первой группы озер заметно
возрастает среднее содержание органического вещества (от 11,2 до
33,4%), а с ним растет концентрация органического углерода (до
14,32%) и азота - (до 1,15%).

Межморенные озера характеризуются лопастной формой, сильно
изрезанной береговой линией, наличием островов и относительно не-
высокими склонами озерных котловин. Площади водных зеркал у таких
озер значительные и достигают иногда величин более 10 км². Обычно
эти озера неглубокие, слабопроточные. Средняя глубина в них, как
правило, редко когда превышает 5 м. Поэтому летом водная толща
озер и дно хорошо прогревается, а вода легко перемешивается. Бе-
реговые склоны озерных котловин несут на себе чехол молодых чет-
вертичных отложений, на которых развиваются дерново-слабоподзоли-
стые, дерново-подзолистые, торфяно-перегнойно-глеевые почвы. В сла-
бопроточных и неглубоких озерах этой подгруппы донные отложения
обычно богаты органическим веществом, а иногда в верхах озерных
толщ развиваются сапропели мощностью более 2-3 м. Цвет сапропелей
обычно буро-коричневый. Сапропели часто подстидают минеральные или
голубых оттенков. В таких случаях литологический состав донных

отложений оказывается весьма простым и достаточно однородным. Так, например, осадки каждой из двух колонок, извлеченных из разных мест оз. Вишневоое, практически идентичны и потому характеризоваться могут одним средним разрезом:

- | | |
|---------|---|
| 0,0-1,7 | сапропель буро-коричневого цвета с оливковым отливом, сверху несколько разжиженный, а с глубиной все более уплотняющийся; |
| 1,7-4,6 | сапропель коричневого цвета с зеленоватым отливом, плотный; |
| 4,6-5,8 | глина серовато-коричневого цвета, однородная, пластичная. |

Следует заметить, что в верхних горизонтах донных отложений целого ряда озер нами весьма часто обнаруживались сапропели — очень ценный органо-минеральный продукт, образующийся обычно в континентальных водоемах и представляющий собой тонкоструктурное коллоидальное вещество, которое содержит значительные концентрации органики, остатки микроорганизмов и металлоорганические соединения. В большинстве изученных озер мощность сапропелевого слоя была незначительной и только в оз. Вишневоое она достигла величины более 4,0 м. Обычно это были сильно минерализованные сапропели с высокой зольностью и не очень высоким (для сапропелей) содержанием органического углерода. Однако, если для озер северной части перешейка (оз. Дымовское, Утиное, р. Вуокса), а также для озер, лежащих в южной его части, но близко от пограничной полосы, разделяющей перешеек на две неодинаковые половины (оз. Лопята, Глухое), среднее содержание органического углерода варьировало в пределах от 2,45 до 7,29%, то в сапропелях озер, лежащих намного южнее (оз. Вишневоое, Малое Кирилловское), содержание органического углерода резко возросло и достигло в среднем величины 13,09%. Дальнейшее изучение химического состава сапропелей позволило отнести их к кремнистому типу и рекомендовать сапропели оз. Вишневоое в качестве удобрения для близлежащих сельскохозяйственных угодий (Березкина и др. (1965)).

К третьей группе относятся озера, отшнуровавшиеся от Финского залива (оз. Петровское и др.) или Ладожского озера (оз. Утиное, Суури и др.) благодаря регрессии их вод. Ранее такие озера представляли собой заливы этих крупных бассейнов, а в настоящее время они отгорожены от них плотинами рыхлых моренных отложений. Озера

подпружены с двух или трех сторон довольно высокими и крутыми берегами - сельгами. Остальные берега очень пологи. Например, у оз. Петровское особенно раскрыты южный и юго-восточный берега, что весьма благоприятно для проникновения в него вод Финского залива. Озера обычно неглубокие, вытянутые приблизительно с северо-запада на юго-восток. Максимальные глубины достигают 8-10 м. Имеются острова и протоки к другим озерам, по которым они спускают в них часть своих вод. Питание этих озер происходит обычно за счет склонового стока бассейна, подтока грунтовых вод и атмосферных осадков. Заметной термической стратификации водных масс у этих озер не наблюдается. Крутые берега озер покрыты в основном травянистым покровом и ягелем, растут единичные сосны, изредка встречаются ели. Пологие берега зарастают ольхой, березой, иногда ивой. Донные отложения таких озер представляют собой минеральные тонкодисперсные илы, иногда тонкозернистые пески. В верхних слоях толщ озерных осадков наблюдается значительная концентрация органического вещества (от 12,1 до 30,2%). В качестве примера отложений таких озер можно рассмотреть одну из 7 колонок, извлеченных нами на оз. Суури (скв. 5):

- | | |
|---------|--|
| 0,0-0,4 | коричневато-зеленовато-серый органо-минеральный ил с мелкими неразложившимися остатками растений; |
| 0,4-1,3 | то же, с постепенным уплотнением осадков, в верхней части незначительная прослойка того же ила, но голубоватого оттенка; |
| 1,3-1,7 | органо-минеральный ил коричневого цвета, плотный, однородный; |
| 1,7-1,8 | прослойка тонкозернистого песка, смешанного с глинистым илом, включения мелких пластиночек слюды; |
| 1,8-2,2 | органо-минеральный ил серо-коричневого цвета с включением крупнозернистого песка, гранитной дресвы; |
| 2,2-2,7 | зеленовато-голубовато-серая глина с постепенным осветлением по мере углубления, включения и прослой органических остатков, черные мазки; |
| 2,7-2,8 | светло-серая глина, заметно уплотненная, пластичная; |
| 2,8-3,2 | голубовато-серая глина, пластичная, однородная; |

- 3,2-5,2 голубовато-серая глина, все более и более уплотняющаяся и постепенно переходящая к более серому цвету;
- 5,2-5,9 серая глина, плотная, с незначительной к низу примесью среднезернистого песка;
- 5,9-6,4 та же глина, но со значительной примесью уже крупнозернистого песка, а к низу - гравия.

Во время проведения полевых работ и извлечения осадков на поверхность нами проводилось визуальное их описание. При этом особенно интересной и ценной информацией оказались сведения об окраске донных осадков. Известно, что окраска различных отложений зависит от минералогического и химического состава их вещества и обусловлена в основном присутствием в нем минералов-хромофоров, органического вещества, влаги и растворенных солей (Страхов и др., 1954).

Окраска образцов донных отложений наблюдалась нами во влажном их состоянии, в момент подъема осадков на дневную поверхность при бурении скважин сквозь водную толщу озер. При этом встречалась различная окраска донных отложений: черная и темно-бурая, серая и голубовато- и зеленовато-серая, голубая и голубая с сине-зелеными оттенками, коричневая и иногда оливковая с зеленоватым оттенком, которая встречалась изредка лишь в верхних слоях осадков. Из всех указанных цветов темно-бурные, черные и коричневые цвета донных осадков отмечались во многих озерах только в верхних горизонтах отложений мощностью от 10-15 до 40 см и только изредка до глубины более 1,0 м. Вся же остальная и главная масса донных отложений во всех почти изученных озерах имела во влажном состоянии темно-серую, серую и голубую окраску различных оттенков.

В большинстве случаев темная (до черной), темно-бурая и коричневая окраски донных отложений были обусловлены присутствием в них различных количеств органического вещества, разложившегося в самой различной степени, и сульфидных соединений, которые образуются в осадках при недостатке кислорода. Серая окраска илов с самыми различными оттенками этого цвета обычно была связана с наличием в них органического вещества, уже разложившегося почти полностью, что, в свою очередь, способствовало присутствию в осадках различных сульфидов (пирита, марказита и др.), а также некоторых соединений (окислов) марганца и железа. Различные оттенки голубовато цвета илов были вызваны обычно преобладающим присутствием за-

кислых форм железа, возникновение которых в осадках обусловлено восстановлением окислов железа в период разложения органического вещества. Этот цвет можно увязать также и с окраской кембрийских "синих" глин, имеющих значительное развитие в южной части перешейка. В былые эпохи эти глины могли быть разрушены в местах своих выходов на дневную поверхность, а затем позднее и послеледниковыми водными бассейнами разнесены по площади перешейка и перетолжены в озерах. Кроме того, голубой оттенок может быть взаимосвязан с присутствием в осадках тонкодисперсной гидрослюды - глауконита, установленной нами при помощи рентгенографического и др. методов анализа. Возможно также, что голубой цвет донных осадков вызван присутствием вивианита, который образуется в торфяниках и озерах в восстановительной среде, а также в пустотах ракушек и костей животных. Этот минерал на перешейке в виде прослоек в илах оз. Муолан-Ярви и оз. Пуннус-Ярви (Красное) был обнаружен Н.И. Семеновичем (1952, 1958). Известно, что даже при очень слабом окислении весьма незначительное количество вивианита может сообщать отложениям характерный голубой или синий цвет.

При визуальном описании окраски образцов донных отложений одновременно отмечалось также и присутствие органических остатков, ибо наличие органического вещества в осадках оказывает, как известно, значительное влияние на миграционную способность многих химических элементов. Кроме того, от его количественного содержания в осадках (особенно в дисперсном состоянии) существенно зависит естественная влажность отложений и параметры окислительно-восстановительных условий, также определяющих степень миграционной подвижности химических элементов. Исследованные нами донные отложения озер сравнительно богаты органическим веществом, которое наблюдается визуально лишь в самом верхнем слое отложений не глубже чем 20-30 см. Эти органические остатки в основном представляют собой еще не совсем разложившиеся остатки стеблей и корней, произрастающей в водоемах Карельского перешейка растительности. Очень редко встречаются чешуйки и косточки рыб.

Естественная влажность донных отложений изученных нами озер была различной и обычно колебалась в пределах от 33 до 93%, редко когда достигала величины 100. Измерение pH образцов донных осадков (общее число измерений составило около 350) показало весьма незначительное колебание значений этого параметра (от 6,53 до 7,12). Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) донных осадков был измерен только в единичных образцах, так как еще в самом начале работ на озерах нам не удалось добиться достаточно воспроизводи-

мых результатов. Однако даже основываясь на этих данных, можно считать, что донные отложения озер Карельского перешейка, взятые в целом, могут быть охарактеризованы теми пределами значений E_n , которые приводят для пресноводных осадков в своей работе Л.Г.Баас Беккинг, И.Р.Каплан и Д.Мур (1963). Кроме этих показателей в большом количестве образцов донных осадков целого ряда озер нами были определены содержания CO_2 карбонатов. Содержание углекислоты в образцах различных озер, а также по разрезу скважин, не оставалось постоянным, а испытывало заметные колебания в пределах от 0,36 до 0,87%.

В стационарных условиях донные отложения озер изучались при помощи гранулометрического анализа, результаты которого, так же как и ряд других показателей вещественного состава, отражают в определенной мере условия формирования осадков. При обработке полученных с помощью этого метода данных нами было учтено, что распределение размеров зерен донных осадков должно описываться функцией логарифмически нормального закона, как это ранее доказали Н.К.Разумовский (1940) и А.Н.Колмогоров (1941). Это обстоятельство позволяет использовать для объективной оценки всей совокупности значений размеров зерен донных осадков только два обобщенных показателя, два основных параметра, которые полностью определяют закон распределения размеров частиц в осадке. Один из таких параметров, как известно, должен принадлежать к группе характеристик центральной величины ряда распределения (в данном случае это медиана (M_d) ранжированного ряда), а другой параметр — к группе характеристик рассеяния или вариации вокруг среднего значения (обычно используют коэффициент сортировки Траска).

В качестве средней характеристики размеров частиц осадка в наших исследованиях, как это обычно и принято, использовали медианный размер зерен (M_d). Но вместо коэффициента сортировки Траска, при помощи которого возможно лишь весьма приближенно оценивать степень однообразия размеров частиц осадка, нами использовалась функция нормированной энтропии (H_p). Эту новую характеристику гранулометрического состава осадка предложил С.И.Романовский (1968), который одновременно показал, что она обладает большим, чем коэффициент Траска, информативным весом. При этом функция нормированной энтропии довольно легко вычисляется и служит достаточно хорошей количественной оценкой степени сортированности частиц в осадке. Кроме того, и это самое главное, эта функция учитывает содержание частиц во всех без исключения фракциях осадка и легко интерпретируется. С ее помощью можно объективно оценить два

реально возможных в природе и прямо противоположных состояния любой системы – порядок, т.е. идеально сортированный осадок ($H_r = 0$), и хаос, беспорядок, или иначе, абсолютно несортированный осадок ($H_r = 1,0$). Промежуточные состояния системы могут оцениваться в зависимости от близости найденных значений функции нормированной энтропии к этим двум крайним значениям или же в соответствии со значениями классификационной шкалы, которую предложил С.И.Романовский (1968).

Формула нормированной энтропии, выраженной в процентах, имеет вид

$$100 H_r = \frac{-100 \sum_1^n p_i \ln p_i}{H_{r \max}},$$

где p_i – доля i -го компонента в n -компонентной системе, а $H_{r \max}$ – максимально возможная энтропия для данного числа компонент (состояний) системы, которая дается выражением $H_{r \max} = \ln n$.

Очевидно, максимальное значение нормированной энтропии, выраженной в процентах, будет равно 100 (в долях от целого $H_r = 1,0$), а минимальное значение – 0. Иными словами, каждая исследуемая природная система может принимать значения нормированной энтропии (в долях целого), лежащие только между нулем и единицей, т.е. $0 \leq H_r \leq 1$. Причем в том случае, когда доля одной из компонент равна единице (100%), а остальные равны нулю, т.е. природной системе присуща полная определенность, она должна обладать значением нормированной энтропии, равным нулю. Максимальное значение $H_r = 1$ должно наблюдаться для такой природной системы, в которой доля каждой компоненты равновероятна, т.е. системе присуща полная неопределенность ее состояний. Мера нормированной энтропии, по нашему мнению, может с успехом применяться для решения самых разнообразных задач ландшафтной геохимии и, в частности, для построения ландшафтно-геохимических карт, несущих на себе информацию о большом количестве химических элементов одновременно.

При исследовании гранулометрического состава донных осадков ряда озер Карельского перешейка в качестве второго параметра нами была использована именно эта мера сортированности осадка. Гранулометрический анализ был произведен для 21 образца донных отложений четырех совершенно произвольно выбранных нами озер. В этих образцах обычными методами были выделены шесть размерных фракций и найдено их процентное содержание. Результаты гранулометрического анализа этих образцов и вычисленные значения функции нор-

мированной энтропии сведены нами для краткости в одну таблицу (см табл.4).

При рассмотрении данных этой таблицы видно, что вычисленные значения нормированной энтропии для всех без исключения изученных осадков озер стремятся ближе всего к значению, равному 1,0, а не к 0, т.е. более схожи с таким из двух крайних состояний природных систем, при котором наблюдается хаотическое, беспорядочное распределение значений рассматриваемого признака внутри самой системы. Иными словами, такие осадки определяются наихудшей фракционной сортированностью своих частиц. Действительно, значения нормированной энтропии для изученных осадков изменяются в интервале от 0,66 до 0,91. Причем значения энтропии для осадков, представленных средним гранулометрическим составом как для всей группы озер, так и для толщи осадков каждого из изученных озер, находится в интервале от 0,79 до 0,87. По классификации С.И.Романовского (1968), в которой в качестве меры сортированности осадка принята функция нормированной энтропии, для плохо сортированного осадка принят интервал значений энтропии от 0,5 до 0,75, для несортированного осадка - 0,75 - 0,90, а для абсолютно несортированного осадка - 0,9 - 1,0.

Следовательно, донные отложения исследованных озер Карельского перешейка в целом могут быть отнесены к типу несортированных осадков. Это позволяет сделать вывод о том, что процессы осадконакопления протекают при одновременном участии целого ряда приблизительно равновеликих по взаимодействию природных факторов.

Нами были построены и проанализированы кривые изменения энтропии фракционной структуры осадков, формирующихся в двух различных по природным условиям частях Карельского перешейка - в северной, лежащей в пределах окраинной части Балтийского щита и сложенной массивными кристаллическими породами, и в южной, расположенной в пределах северо-западной части Русской равнины и сложенной четвертичными и дочетвертичными осадочными породами. Для удобства рассмотрения на рис.7 нами приводятся только две кривые, каждая из которых представляет собой среднюю обобщенную кривую из целого ряда результатов гранулометрического анализа.

При анализе тенденции и характера изменения энтропии гранулометрического состава усредненных осадков озер для двух различных частей Карельского перешейка можно заметить следующие их особенности. Во-первых, донные отложения озер обеих частей перешейка характеризуются довольно узким спектром фракций, которые лежат в основном в пределах от 0,25 до 0,001 мм. При этом в обоих случаях

Результаты гранулометрического анализа (%) и расчета функции нормированной энтропии для донных отложений современных озер Карельского перешейка

Озера	Глубина отбора, м	Фракции размера, мм						Md	$\sum p_i \ln p_i$	$H_r^{*})$
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001			
Суури, скв.5	0,1-1,1	0	37,50	26,10	11,60	20,48	4,32	0,025	1,425	0,79
	1,2-2,2	22,65	57,61	7,00	8,00	4,27	0,47	0,100	1,195	0,66
	2,3-3,2	0	31,80	26,00	6,30	30,27	5,63	0,016	1,412	0,79
	3,3-4,2	0	34,40	25,60	13,00	25,58	1,47	0,019	1,377	0,77
	4,3-5,3	0	24,00	38,40	7,30	18,50	11,80	0,017	1,462	0,81
	5,4-6,4	2,95	32,45	17,00	16,00	18,50	13,10	0,013	1,642	0,91
	Среднее	4,27	36,29	23,35	10,37	19,59	6,13	0,025	1,559	0,87
Дымовское, скв.17	0,1-1,0	0	40,80	17,90	21,30	14,80	5,20	0,020	1,438	0,80
	1,1-2,0	0	49,74	12,42	14,21	16,85	6,78	0,045	1,362	0,76
	2,1-3,0	0	41,00	24,00	1,0	30,95	3,05	0,027	1,224	0,68
	3,1-4,0	0	37,00	20,11	8,49	26,30	8,10	0,017	1,446	0,80
	4,1-4,8	0	24,80	23,70	11,40	29,90	10,20	0,009	1,522	0,85
	Среднее	0	38,67	19,63	11,28	23,76	6,66	0,020	1,463	0,81
Петровское, скв.18	0,1-1,0	0	54,32	19,00	5,88	11,49	9,31	0,110	1,276	0,71
	1,1-1,9	0	36,53	20,77	12,30	21,10	9,30	0,017	1,496	0,83
	2,2-3,0	0	36,00	26,43	25,52	9,68	2,37	0,021	1,382	0,77
	3,1-4,1	0	43,37	5,83	19,73	18,10	13,47	0,009	1,410	0,78
	4,2-5,2	0	39,10	35,85	1,26	17,42	6,37	0,030	1,251	0,70
	Среднее	0	41,86	21,47	12,94	15,56	8,17	0,026	1,452	0,80
Кирилловское, скв.22	0,1-0,4	0	36,50	28,40	17,60	14,79	2,71	0,023	1,427	0,79
	0,5-0,8	0	29,40	36,90	12,50	16,00	5,20	0,020	1,432	0,80
	0,9-1,2	0	36,00	30,10	17,10	12,40	4,40	0,023	1,413	0,79
	1,3-1,6	0	42,00	14,00	26,10	14,60	3,30	0,020	1,380	0,77
	1,7-2,0	0	45,47	19,30	24,30	9,30	1,63	0,035	1,317	0,73
	Среднее	0	37,87	25,74	19,52	13,42	3,45	0,023	1,413	0,79
Среднее для всех озер	1,22	38,56	22,59	13,38	18,15	6,10	0,023	1,498	0,83	

* Для 6 размерных классов $H_{\max} = 1,795$.

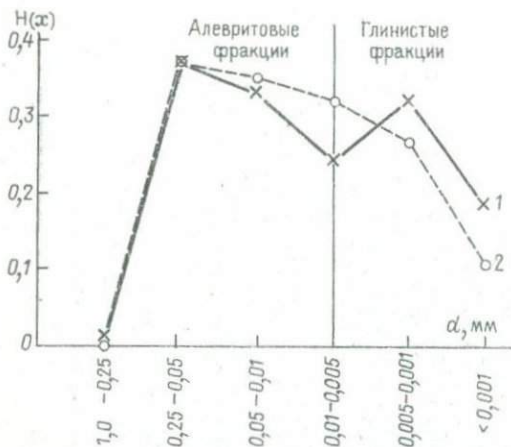


Рис. 7. Кривые изменения энтропии среднего гранулометрического состава донных отложений для озер северной (1) и южной (2) частей Карельского перешейка.

вначале по мере уменьшения размера фракций и до вполне определенного размера частиц, наблюдается увеличение энтропии, а затем картина кривых изменяется, и каждая из них уже ведет себя по-своему. Максимального значения энтропия достигает для фракции 0,25–0,05 мм, а затем весьма незначительно уменьшается для обеих кривых для фракции 0,05–0,01 мм. Большое значение энтропии для этого интервала фракций указывает на их наихудшую фракционную сортированность в данных типах осадков. Причем, как это следует из табл. 4, полученные для данных осадков медианные размеры частиц, являясь показателями, определяющими тип осадка, также лежат в пределах этих фракций. Поэтому, опираясь на этот эмпирический материал, а также классификацию Н.М.Страхова и др. (1954), предложенную для современных отложений, можно сделать вывод, что донные осадки озер Карельского перешейка представлены в основной своей массе крупно- и мелкоалевритовыми илами и лишь в отдельных случаях – глинистыми и песчаными илами.

Во-вторых, кривая изменения энтропии фракционной сортированности осадков для южной части перешейка имеет довольно плавный характер. Этого нельзя сказать о поведении кривой, построенной для северных озер. Для нее отчетливо выявляется относительный минимум энтропии в точке, соответствующей критическим размерам частиц на границе алевритовых и глинистых фракций, а затем резкий рост в точке для фракции 0,005–0,001 мм и опять спад значений в точке для фракции < 0,001 мм. Вероятнее всего, такой характер

изменения энтропии гранулометрического состава донных осадков северных озер можно объяснить наличием какого-то специфического для данной части перешейка природного механизма, всегда участвующего в процессе формирования осадков. По-видимому, это связано со способом транспортировки осадочного материала в конечный водоем стока и общим течением процессов сортировки, отложения и переотложения частиц осадка. Вероятно, быстрый рост, скачок в сторону увеличения неопределенности состояния для частиц фракции 0,005-0,001 мм вызывается гидродинамическими условиями в водоемах, которые не позволяют частицам такого размера осаждаться на дно вместе с остальными частицами, а лишь раздельно по истечении какого-то определенного времени или, наоборот, ранее их.

Иными словами, для этих кривых наблюдаются весьма резкие различия в их внешнем облике, что определяется в первую очередь различием характеров седиментационных процессов в водоемах, а также неодинаковостью физико-географических условий в северной и южной частях Карельского перешейка, и в особенности различием в их геологическом строении.

Это хорошо согласуется с тем выводом, который сделал С.И. Романовский (1968), когда на большом фактическом материале осадков различного генезиса исследовал связь энтропии гранулометрического состава современных отложений с условиями их седиментации. "Проанализировав характер распределения энтропии гранулометрического состава современных отложений различного генезиса, — пишет Романовский, — можно установить, что осадки, формирующиеся под действием сходных по режиму седиментационных процессов, характеризуются сопоставимой фракционной сортированностью частиц, и внешний облик кривых распределения энтропии их гранулометрического состава практически совпадает" (1968, с.87).

Именно такое положение мы наблюдали для кривых изменения энтропии гранулометрического состава осадков озер северной части перешейка, когда внешний облик этих кривых как бы повторял друг друга. Внешний облик почти одинаковых кривых для южной части перешейка резко отличался от них, что, вероятно, и указывает на различие ландшафтных условий и режима седиментации, которые объективно существуют в этих двух частях Карельского перешейка в независимости от возможностей нашего восприятия и исследований его природы.

Таким образом, анализ кривых изменения энтропии гранулометрического состава осадков озер Карельского перешейка позволяет считать, что в целом характер процессов мобилизации, транспорти-

ровки и седиментации частиц донных отложений в озерах северной части отличается от таковых для озер его южной части.

Кроме изучения гранулометрического состава озерных осадков, нами проводились исследования и других показателей их вещественного состава. При этом использовались самые разнообразные методы анализа вещества: электронно-микроскопический, термический, рентгенографический, минералогический, спорово-пыльцевой и диатомовый, которые позволили раскрыть особенности осадков перешейка с разных сторон. Особое внимание в этих исследованиях нами было уделено тонкодисперсной части донных осадков (фракции $< 0,001$ мм), поскольку именно эта составная часть их вещества обладает наибольшей потенциальной способностью к сорбции малых химических элементов.

Так, при помощи электронного микроскопа УЭМВ-100 было произведено микрофотографирование более 80 суспензированных образцов тонкодисперсной фракции донных отложений. В связи с тем, что фотографирование проводилось при увеличении изучаемых объектов в 10 000 раз, нам удалось заглянуть в необычный и удивительный микромир — мир мельчайших частиц донных отложений современных озер. Здесь приводятся только наиболее характерные и интересные микрофотографии, так как поместить их все не представлялось возможным. При интерпретации полученных микрофотографий выяснилось, что верхние слои донных осадков значительно обогащены обломками скелетов диатомовых водорослей (рис. 8), которые представлены пресноводными их формами. В одном из суспензированных образцов тонкодисперсной фракции донных отложений озера Лопата (глубина отбора 0,0–0,4 м) нами была зафиксирована цельная форма диатомей, которая, по определению Р.Н. Джиноридзе, может быть отнесена к виду *Symbella* sp. (пресноводная). Обломки скелетов диатомовых водорослей прослежены нами по микрофотографиям тонкодисперсной фракции донных осадков до различных глубин, например, в озере Утиное — до глубины 0,7 м, а в озере Лопата — до глубины 2,2 м. Ниже этих глубин обломки диатомей не встречены. В дальнейшем, при рассмотрении данных относительного возраста донных осадков выяснилось, что эти отметки глубин для обоих озер лежат точно на рубеже конца бореального периода. Конечно, это можно считать простым совпадением и ничем более. Однако, как нам кажется, этот рубеж следует считать нижней границей того времени, после которого наблюдается максимальное развитие диатомовой флоры в озерах.

Кроме обломков диатомей на микрофотографиях в большом количестве наблюдаются и минеральные частицы. На основании сравнения

как форм и размеров отдельных частиц, так и микрофотографий в целом, с таковыми на эталонных снимках, приведенных в специальном атласе (Рекшинская, 1966), нам удалось установить, что чаще всего из основных породообразующих глинистых минералов в донных осадках встречается гидрослюда изометричнопластинчатая с угловатыми контурами (рис. 8, *з*). Толщина отдельных частиц непостоянна и уменьшается к их краевым частям, имеющим зазубренные контуры. Реже встречаются удлиненные формы частиц с довольно четко очерченными гранями. Отдельные полупрозрачные и почти непрозрачные частицы имеют нечеткие контуры, часто собраны в агрегаты характерных форм с резкими завихрениями, складками и шиповидными выступами (рис. 8, *г*). По данным, приведенным в работе И.Д.Зхуса (1966), такие частицы можно отнести к смешанно-слоиным образованиям гидрослюдисто-монтмориллонитового состава. Значительно реже встречены частицы каолинита, галлуазита и других непрозрачных минералов.

Данные термического анализа тонкодисперсной части донных осадков, полученные на приборе УТА-1, в целом не только подтвердили эти результаты, но и добавили ряд новых характерных штрихов к пониманию их вещественного состава. Анализ полученных термограмм

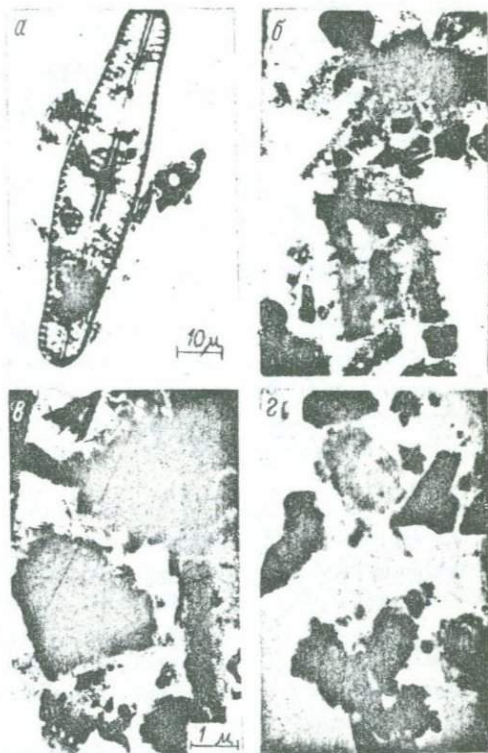


Рис. 8. Электронно-микроскопические снимки тонкодисперсной части озерных осадков Карельского перешейка (оз. Лопата).

Глубина: *а*, *б* - от 0,0 до 0,4 м; *в* - от 0,4 до 1,5 м; *г* - от 4,5 до 5,6 м.

(рис.9) показал, что для всех без исключения кривых нагревания тонкодисперсных частиц наблюдается четко выраженный эндотермический эффект в интервале температур от 80 до 200°C, связанной с потерей гигроскопической воды. Почти для всех образцов из оз.Ло-

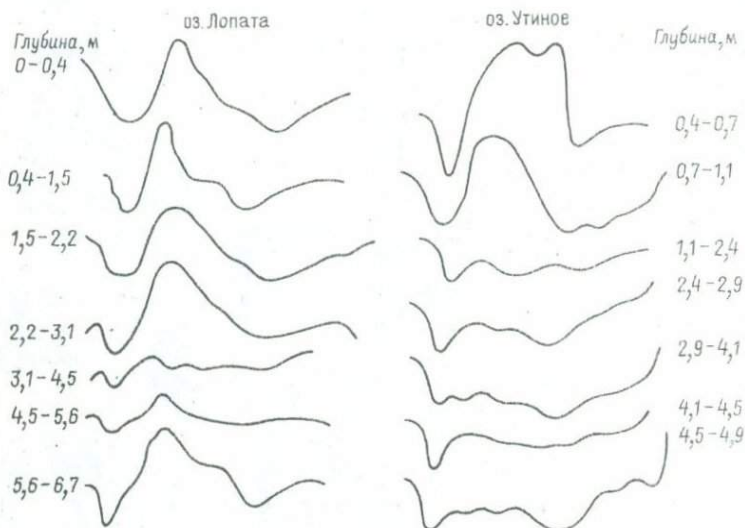


Рис.9. Термограммы озерных илов Карельского перешейка.

пата и для первых трех образцов осадков из оз.Утинное наблюдается характерный экзотермический пик в интервале температур от 200 до 600°C, что можно объяснить выделением энергии при сгорании органических веществ, присутствующих в донных осадках. По определению В.П.Ивановой, кривые нагревания образцов оз.Лопата могут быть интерпретированы следующим образом:

- | | |
|---------|--|
| 0,0-0,4 | органическое вещество, слабо метаморфизованное; начало образования гидрослюда типа гидромусковита; |
| 0,4-1,5 | то же; |
| 1,5-2,2 | органическое вещество в меньшем количестве; гидрослюда лучше раскристаллизованная; |
| 2,2-3,1 | органическое вещество, слабо метаморфизованное; |

- 3, 1-4, 5 начальная стадия метаморфизации органического вещества; гидрослюда еще не полностью оформлена и раскристаллизована;
- 4, 5-5, 6 органическое вещество метаморфизовано в несколько более высокой степени; присутствует гидрослюда;
- 5, 6-6, 7 присутствует органическое вещество и, вероятно, коллоидные окислы железа, гидрослюда;

Кривые нагревания образцов тонкодисперсной части донных осадков оз. Утиное сравнивались с таковыми для Ладожского озера, вещественный состав которых весьма детально описан в монографии И. И. Семеновича (1966). Сравнительный анализ показал их практическое тождество. Как выяснилось, это обусловлено тем, что в недалеком прошлом эти озера представляли единый бассейн, и лишь впоследствии оз. Утиное отшнуровалось от Ладоги, став самостоятельным озером (Тарновский, 1969б).

Рентгенографический анализ образцов донных осадков, разделенных на фракции легких и тяжелых минералов, проводился на дифрактометре УРС-50 ИМ. При анализе одновременно изучался характер и степень воздействия раствора уксусной кислоты на минеральный состав донных осадков, что весьма важно было знать в связи с использованием этой кислоты при проведении рационального (фазового) анализа осадков на целую группу малых элементов. Как показали дифрактограммы (рис. 10, а, б), основным осадкообразующим глинистым минералом является гидрослюда (в большинстве — глауконит) с редкой примесью каолинита, шамозита и хлорита. Среди неглинистых минералов чаще всего встречаются: кварц, полевошпата, слюда (в основном биотит) и амфибол. Выяснилось также, что уксусная кислота не оказывает разрушающего влияния на минеральный состав осадков, а только отмывает поверхность минералов, освобождая их от окисных железисто-марганцевистых пленок и побежалости, как бы просветляет их.

Фракции легких и тяжелых минералов, выделенные из образцов донных осадков в тяжелой жидкости при помощи центрифуги, были рассмотрены также и под микроскопом. Было обнаружено, что в донных осадках озер больше всего содержится кварцевых зерен, затем — полевошпата, слюды различной степени выветрелости (биотит, мусковит, хлорит), пироксена, роговой обманки, граната (альмандина), эпидота, лимонита, магнетита, гематита, циркона и единичных зерен других минералов.

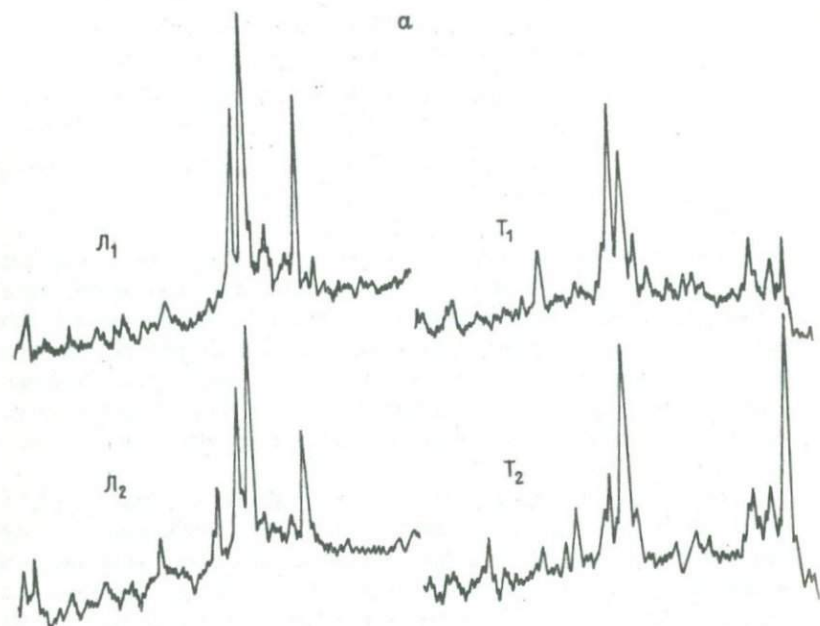
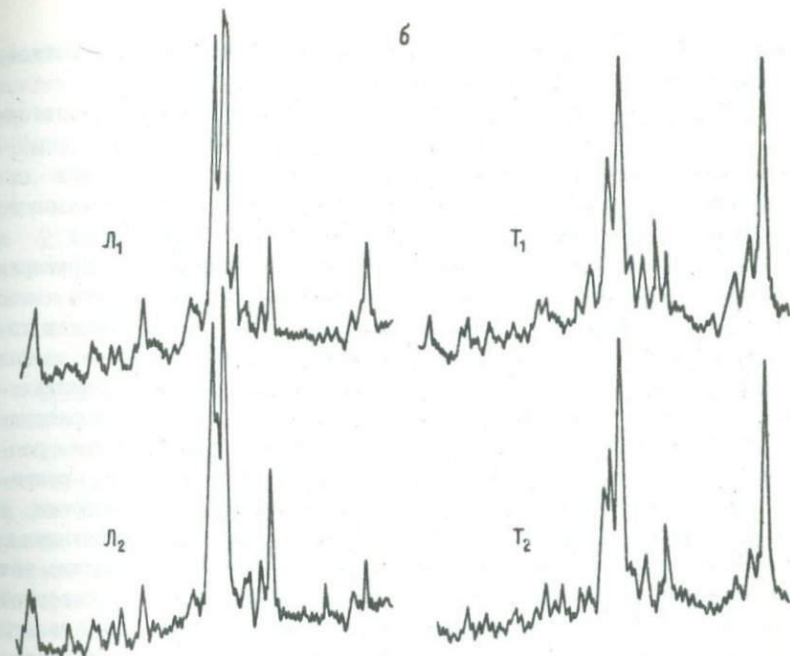


Рис.10. Рентгенограммы фракций легких (L) и тяжелых (T) мисле (L_2, T_2) обработки
 a - оз. Утинное, поверхностный слой осадков;

Для определения относительного возраста и ландшафтных условий формирования и накопления донных осадков в лаборатории палинологии НИИГ ЛГУ было исследовано более 400 образцов, представляющих собой дециметровые отрезки сплошных колонок отложений из различных озер перешейка: Лопата, Утинное, Вишневское, Суури, Малое Кирилловское, р.Вуокса и др. В каждом из изученных образцов было определено большое количество пыльцы и спор хорошей сохранности. Все эти исследования были проведены в основном руководителем лаборатории, старшим научным сотрудником Е.С.Маясовой и старшим научным сотрудником лаборатории Е.А.Спиридоновой. По результатам анализов были построены спорово-пыльцевые диаграммы, которые хо-



нералов озерных осадков Карельского перешейка до (L_1, T_1) и поуксусной кислотой.
 b - оз. Утинное, глубина отбора образца 4,7 м.

рошо сопоставляются как друг с другом, так и с общей спорово-пыльцевой диаграммой, установленной для голоценовых отложений Карельского перешейка Е.С.Маясовой (1960). В результате изучения донных отложений современных озер методом спорово-пыльцевого анализа, этими исследователями опубликован целый ряд оригинальных статей (Маясова, Спиридонова, 1965; Березкина, Маясова и др., 1966; Маясова, Спиридонова, 1967; и др.). Ниже приводится сводная часть опубликованной ими информации, которая необходима нам для раскрытия былых условий формирования и возраста озерных осадков.

В качестве исходных данных нами использовался ряд спорово-пыльцевых диаграмм, по которым снизу вверх по разрезу колонок можно проследить следующую последовательность относительного времени осадконакопления в озерах: бёллинг, средний дриас, аллерёд, молодой дриас, предбореальный, бореальный, атлантический, суббореаль-

ный и субатлантический периоды (римскими цифрами указаны соответствующие этим этапам фазы развития растительности).

Отложения межстадиала бёллинг (I) выделены указанными авторами в основании колонок донных осадков оз. Лопата (гл. 3, 0-7, 1 м), оз. Утиное (гл. 4, 8-4, 5 м) и р. Вуокса (гл. 10, 4-8, 6 м). находка отложений этого времени среди осадков современных озер Карельского перешейка, ранее здесь неизвестных, позволила Е.С. Малясовой и Е.А. Спиридоновой (1965) прийти к выводу, что данная территория значительно раньше освободилась от ледникового покрова, чем это было принято считать до их исследований. Климат этого времени хотя и был достаточно прохладным, континентальным, все же не был столь суровым, чтобы его называть субарктическим. Флора межстадиала бёллинг отличалась исключительным своеобразием. На территории перешейка в это время произрастали разные по своей экологии растения, являющиеся представителями, по крайней мере, трех современных растительных зон: тундры, лесов и степей. Эдафические и климатические условия того времени были наиболее благоприятными для развития здесь разреженных сосновых лесов. Причем ель, видимо, только начинала проникать на перешеек и еще отсутствовала в северной его части. Значительные площади территории перешейка были заняты разнообразными по составу сообществами гелиофитов, луговые ценозы занимали весьма ничтожную площадь.

Осадки среднего дриаса (II) вскрыты скважинами на озерах Лопата (гл. 7, 1-6, 7 м), Утиное (гл. 4, 5-4, 1 м) и р. Вуокса (гл. 8, 6-8, 4 м). Климат в это время стал более суровым, субарктическим, вследствие чего произошла значительная перестройка растительности - лесные сообщества сменились лесотундровыми группировками. В спорово-пыльцевых спектрах этого времени господствуют пыльца кустарниковой и кустарничковой форм березы, полыни и маревых, а среди споровых - споры зеленых мхов. Незначительная мощность накопившихся в это время в озерах осадков может служить косвенным показателем непродолжительности этого интервала. Об этом в какой-то степени говорят данные по абсолютной датировке голоцена радиуглеродным методом, описанные Л.Р. Серебряным (1961) для близлежащей территории Балтики (возраст этого интервала им оценивается величиной около 200 лет).

Осадки межстадиала аллерёд (III) вскрыты скважинами в озерах: Лопата (гл. 6, 7-5, 6 м), Утиное (гл. 4, 1-2, 8 м), Вишневское (гл. 6, 8-6, 1 м), Суури, скв. 5 (гл. 6, 4-3, 2 м) и р. Вуокса (гл. 8, 4-1, 2 м). По сравнению со средним дриасом климат этого времени характеризуется некоторым потеплением. Вероятнее всего он мало чем отличался от

климата межстадиала бёллинг, хотя, возможно, был более влажным. В спорово-пыльцевых спектрах увеличивается роль березы (древовидной) и ели. В южной части перешейка наиболее распространенными, по-видимому, были березово-сосновые и елово-сосновые разреженные леса, а в зоне сельгового рельефа сохранялись отдельные группировки растений гелиофитов.

Отложения молодого дриаса (IU) выделены в колонках донных осадков озер: Лопата (гл.5,6-4,5 м), Утиное (гл.2,8-2,5 м), Вишневское (гл.6,1-4,7 м), Суури, скв.5 (гл.3,2-2,8 м). Климат верхнего дриаса был субарктическим, но не арктическим. Флора этого времени во многом сходна со среднедриасовой.

Осадки предбореального периода (V) наиболее полно представлены в колонках озер: Лопата (гл.4,5-3,1 м), Утиное (гл.2,5-1,1 м). В осадках озера Суури (гл.2,8-2,6 м) и р.Вуокса (гл.4,2-3,2 м) это время представлено менее выраженными спектрами. Однако на основании фактического материала можно сделать вывод, что климат в этом периоде не был достаточно постоянным, так как состав спектров этого этапа неодинаков. Судя по спорово-пыльцевым спектрам, климат предбореального времени изменялся от более теплого к холодному и вновь к более теплему. При этом климатические условия холодного отрезка времени были все же несколько теплее, чем во время среднего или молодого дриаса, о чем говорит тот факт, что в спектрах образцов даже северной части перешейка увеличивается участие пыльцы сосны (30%, оз.Утиное). В целом же, климат для всего периода был, видимо, с теплым летом и суровой зимой, но более влажный, чем климат времени аллерёд и бёллинг. Растительный покров Карельского перешейка в этот период менялся неоднократно. Господствовали, однако, сосновые и березовые леса, иногда с примесью ольхи, ели и вяза. Группировки с участием полыни и маревых сохранились в основном в северной части перешейка.

Осадки бореального периода (VI) встречаются в колонках донных осадков озер: Лопата (гл.3,1-2,2 м), Утиное (гл.1,1-0,7 м), Вишневское (гл.4,7-4,0 м), Суури, скв.5 (гл.2,6-2,3 м) и в осадках р.Вуокса (гл.3,2-3,1 м). Климат бореального периода на территории Карельского перешейка в целом был сухим и умеренно теплым. В развитии растительности перешейка начинается новый этап - господство сомкнутых лесных сообществ, в которых позднеледниковые элементы флоры были вытеснены более жизнеспособными и лучше приспособленными к данным условиям бореальными видами. Однако дольше всего элементы позднеледниковой флоры сохранялись в северной части пе-

решейка, на сельгах, и исчезли совсем лишь к концу бореального периода. В это же время в составе лесов южной части перешейка возрастает значение ели и ольхи.

Осадки атлантического периода (УП) установлены в разрезах пяти скважин, на озерах: Лопата (гл.2,2-1,5 м), Вишневское (гл.4,0-2,7 м), Суури, скв.5 (гл.2,3-2,2 м), Малое Кирилловское (гл.2,4-1,1 м) и р.Вуокса (гл.3,1-1,6 м). Климат этого периода был теплым, вероятно, морского типа (особенно в прибрежной части перешейка), с прохладным летом и мягкой зимой. Атлантический период был временем климатического оптимума послеледниковья. На всей территории Карельского перешейка в это время господствовали сосновые леса с примесью березы, ольхи и широколиственных пород. Увеличенные площади, занятой под болотами, говорит о значительной увлажненности территории перешейка. В то же время формируются геоботанические районы, близкие по характеру своей растительности и границам к современным.

Осадки суббореального периода (УШ) встречаются в колонках озер: Лопата (гл.1,5-0,4 м), Утиное (гл.0,7-0,1 м), Вишневское (гл.2,7-1,4 м), Суури, скв.5 (гл.2,2-0,7 м), Малое Кирилловское (гл.1,1-0,2 м) и р.Вуокса (гл.1,6-0,4 м). Климат этого времени был более континентальным и менее влажным, чем климат атлантического периода, но теплее и мягче современного. Основной лесобразующей породой в суббореальном периоде становится на перешейке ель, оставляя за сосной роль эдификатора в местах, менее для себя благоприятных. Примесь других древесных пород была незначительной.

Субатлантический (IX) период как по климату, так и по растительному покрову был во многом сходен с современным. Донные осадки этого периода имеют мощность в несколько десятков сантиметров и прослежена почти во всех разрезах скважин, пробуренных в различных озерах перешейка.

Диатомовый анализ образцов донных осадков, проведенный Е.М. Вишневской и Р.Н.Джиноридзе (1967), показал довольно однородный видовой состав диатомовых водорослей по всей толще поздне- и послеледниковых отложений озер. При этом, как полагают авторы, изученные ими озера (Лопата, Утиное и р.Вуокса), начиная уже с ранних этапов позднеледниковья и вплоть до современного периода, представляли собой холодные, прозрачные и пресные олиготрофные бассейны, в которые вряд ли проникали воды соленого позднеледникового ильдиевого моря.

Таким образом, на основании данных спорово-пыльцевого и диатомового анализов следует, что формирование и накопление донных отложений в озерах Карельского перешейка началось во время межстадиала беллинг и продолжается до настоящего времени. За все это время условия их накопления не были постоянными, а изменялись весьма значительно и неоднократно. При этом переломными моментами истории развития природы на Карельском перешейке следует считать предбориальный и атлантический периоды. Начало предбореального периода можно считать вполне объективной, естественной границей резкого изменения физико-географических условий на перешейке. С этого времени в живой природе перешейка наблюдается резкое развитие и освобождение ее от остаточного влияния элементов позднеледникового времени. Время атлантического периода следует выделить как достаточно теплое, однако, в котором территория Карельского перешейка испытывает весьма значительное переувлажнение.

В результате комплексного изучения особенностей вещественного состава донных отложений современных озер Карельского перешейка можно сделать один весьма важный для настоящих геохимических исследований вывод: озерные осадки представляют собой достаточно сложные органоминеральные смеси различных природных веществ, генетически совершенно не связанных друг с другом. Они обычно сложны одновременно аллохтонным и автохтонным материалом, что делает их с геохимической точки зрения довольно сложными, гетерогенными генетически неоднородными, многокомпонентными природными объектами.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЙ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ОЗЕР КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА

Одной из основных задач геохимии ландшафта, так же как и других направлений геохимии, является познание законов, которые управляют миграцией химических элементов в различных природных образованиях. Под геохимической миграцией понимают комплекс процессов пространственного перемещения химического элемента, которые приводят к перераспределению концентраций элемента в различных участках объекта, к накоплению или рассеянию его атомов. При этом химический элемент может изменять свои формы нахождения, переходить из подвижных форм в неподвижные и, наоборот, мигрировать в пространстве, не изменяя своих форм и содержаний, рассеиваться или концентрироваться в определенных участках объекта. А так как изменение и развитие любых природных объектов и взаимодействие их друг с другом немислимы вне миграции атомов химических элементов, которые всегда составляют собой массу движущейся материи, то становится вполне очевидным, сколь велика теоретическая и практическая значимость установления законов миграции химических элементов.

Однако при решении этой важной задачи исследователи обычно лишены возможности непосредственно наблюдать и измерять само движение атомов химических элементов, непосредственно исследовать перераспределение концентраций и перегруппировку сочетаний их атомов в изучаемом объекте. На практике эту задачу приходится решать опосредованно, при помощи данных, отражающих не саму миграцию элементов, а лишь ее какой-то определенный результат, зафиксированный в определенный момент времени одновременно в целой сети точек изучаемого объекта. Результаты анализа совокупности образцов объекта позволяют наблюдать как бы "застывшую" на мгновение картину пространственного распределения концентраций элементов, рассматривать как бы "моментальную" статическую фотографию изучаемого объекта в атомном разрезе. Исследуя внутренние закономерности распределения концентраций элементов в таком статическом геохимическом

пространстве объекта, определяя различные его геохимические характеристики и сравнивая полученные результаты с аналогичными данными, известными для других объектов, а также теоретически осмысливая всю эту информацию, геохимик тем самым решает обратную задачу - на основе закономерностей статического распределения содержаний элементов в изучаемом объекте, в определенной мере искаженных ошибками анализа, реставрирует само движение атомов химических элементов, делает геохимические выводы о самих процессах и характере их миграции.

Следовательно, изучение и выяснение статических закономерностей распределения содержаний химических элементов в различных природных образованиях имеет не меньшее значение, так как полученные в результате таких исследований данные служат необходимой основой для установления законов миграции элементов. Кроме того, объективно установленные закономерности статического распределения содержаний химических элементов в различных природных объектах и сами по себе представляют большую ценность, так как позволяют определить достаточно обоснованное значение локальных, региональных и глобальных кларков элементов, т.е. оценки их среднего арифметического содержания для данного типа природного объекта, для совокупности таких объектов в данном регионе или вообще для всей совокупности этих объектов на земном шаре. Кларки же, как известно, представляют собой как бы геохимический эталон, определенную норму количественного содержания отдельных химических элементов в объекте, всякое отклонение от которой тесно связано с миграцией элементов. Данные о кларках элементов в различных объектах Земли широко используются при сравнительном анализе вновь полученных результатов. В случае, если отклонение содержания направлено в сторону меньшей кларка, то считают, что элемент рассеивается, а если в большую сторону - элемент накапливается (Беус, 1972). Поэтому при изучении закономерностей распределения содержаний элементов в природных объектах весьма важным оказывается определение оценки не только среднего содержания, но и величины вариабельности, колебания содержаний элементов вокруг среднего значения, которая показывает степень неравномерности распределения его концентраций в изучаемом объекте.

Однако до настоящего времени для целого ряда природных образований, которые обычно исследуются геохимией ландшафта, не существует объективных и хорошо обоснованных данных о кларках элементов. Например, это касается различных видов, типов и всей сово-

купности живого вещества на земном шаре, разновидностей почв, донных отложений озер и рек. Поэтому при геохимических исследованиях этих компонентов ландшафтов необходимо стремиться как-то исправлять это положение, для чего следует производить массовый сбор аналитических данных о распределении содержаний одновременно большой группы химических элементов в данном компоненте ландшафтов. Вместе с тем, для обоснованного установления местных или региональных кларков элементов для отдельных компонентов ландшафтов необходимо использовать методы статистической обработки и анализа полученных данных. Математическое описание особенностей распределения содержаний химических элементов в малоизученных компонентах ландшафтов позволит оценить закономерности поведения элементов в этих природных образованиях, а также явится объективной основой для выявления хорошо обоснованных глобальных кларков элементов.

Ранее нами было показано, что формирование донных отложений озер происходит при взаимодействии целой совокупности природных факторов, протекающих в системе водосбор-озеро с непостоянной во времени и пространстве силой. В связи с этим донные отложения озер представляют собой сложные, многокомпонентные и гетерогенные природные системы, в которых распределение содержаний химических элементов не может быть абсолютно постоянным. Действительно, концентрации элементов колеблются в некоторых интервалах, образуя собой определенное поле чисел, поле концентраций, обладающее какой-то своей внутренней упорядоченностью, определенной статистической закономерностью. Однако относительно небольшое число данных, которое обычно получают при геохимических исследованиях значительных по своим размерам природных объектов, не позволяет найти точное описание функции распределения концентраций в каждом объекте. Поэтому для математического описания эмпирического распределения содержаний химических элементов в объекте используется несколько теоретических моделей, которые достаточно хорошо аппроксимируют истинные функции распределения. Среди них наиболее широко применяются нормальный и логарифмически-нормальный законы распределения.

Следует заметить, что вид функции распределения содержаний элемента в объекте тесно связан с характером размещения элемента в его веществе, т.е. зависит от форм его нахождения в объекте, от того, находится ли элемент в состоянии концентрации в одной или нескольких формах нахождения или рассеян во многих формах своего нахождения. В случае функции нормального закона можно говорить о рассеянии содержания данного элемента одновременно в нескольких фор-

мах его нахождения в объекте, причем приблизительно в равных количествах в каждой из них. При логнормальном законе распределения содержаний можно считать, по-видимому, что элемент содержится в преобладающих количествах в какой-то одной или нескольких формах своего нахождения в объекте. На практике чаще всего наблюдаются асимметричные распределения концентраций с одним ярко выраженным максимумом, отличные от кривой нормального распределения содержаний. Форма этих кривых изменяется на симметричную при замене величин концентрации их логарифмами, т.е. согласуется с логарифмически-нормальной моделью. По мнению Ж.Матерона (1968), всякий раз, когда какое-либо явление или процесс оказывается под преобладающим влиянием эффекта пропорциональности, то для распределения значений признака, описывающего этот процесс, следует ожидать возникновения асимметричного распределения с одним максимумом, которое хотя бы приближенно согласуется с логнормальным законом распределения.

На эту преимущественную подчиненность большинства природных процессов математической модели логнормального закона еще в 1940 г. указал Н.К.Разумовский, который писал по этому поводу следующее: "Логарифмически-нормальному закону подчиняется распределение частиц в воде, в воздухе, частиц пород при дроблении, при химическом осаждении, при ситовом анализе, распределение содержаний в породе ценных компонентов, в том числе и нефти, а очевидно, и вообще составных минералов пород" (Разумовский, 1940, с.817). На подчинение логарифмически-нормальному закону распределения размеров частиц горных пород при их искусственном дроблении указал также в специальной статье А.Н.Колмогоров (1941). По мнению Б.В.Карасева (1971), логнормальный закон распределения вещества, характеризующий оптимальный вариант функции распределения в уравновешенных природных системах, проявляется чрезвычайно широко как в веществе Земли, так и звездном веществе, в метagalктике, и должен обязательно учитываться в практической деятельности человека.

Следовательно, весь накопленный к настоящему времени эмпирический материал позволяет с большой уверенностью считать, что закономерности распределения содержаний химических элементов в донных отложениях озер могут быть аппроксимированы логарифмически-нормальным законом. Однако, как нам представляется, в связи с ограниченным объемом получаемых в результате геохимических исследований данных, часто возникают ситуации, когда распределение содержаний в объекте одновременно согласуется и с нормальной и с логнормальной моделью, в которых трудно отдать предпочтение лишь одной из них.

Кроме того, существующие в настоящее время данные о кларках элементов в различных природных образованиях основаны на использовании нормальной модели распределения содержаний и представляют собой оценки средней арифметической величины содержаний, которая обычно систематически больше средней геометрической оценки содержаний, являющейся центральной характеристикой при логнормальном законе распределения. Это ставит исследователя в чрезвычайно сложное положение, так как в случае логнормального закона распределения содержаний в изучаемом объекте не позволяет сравнивать полученные оценки средних геометрических величин содержаний с величинами кларков.

Вместе с тем, разработанный автором вариант геохимической методики изучения природных объектов, основанный на совместном использовании эмиссионного спектрального анализа и математической статистики, позволяет избежать эти трудности. В таком варианте геохимических исследований средняя арифметическая оценка КВК для данной выборки будет отображаться при помощи аналитического графика сразу же в среднюю арифметическую оценку логарифмов содержаний или, иначе, в среднюю геометрическую оценку содержаний элементов в изучаемом объекте. Одновременно с этим, получая оценку природной дисперсии в единицах КВК, на основе формулы перехода вычисляют оценку природной логарифмической дисперсии, которая показывает истинную вариабельность в объекте логарифмов содержания элементов. Если же предположить, что для описания закономерностей распределения содержаний химических элементов в изучаемых объектах можно использовать одновременно две теоретические модели - нормального и логнормального закона, то полученные таким образом оценки средней геометрической величины содержания элемента и природной логарифмической дисперсии позволяют при помощи соответствующей формулы связи центральных величин этих двух теоретических моделей найти оценку средней арифметической величины содержания элемента в данном объекте. Очевидно, найденная при этом оценка средней арифметической величины содержания элемента в объекте уже может быть использована для сравнения с кларком.

В основу таких расчетов положена хорошо известная взаимосвязь нормального и логнормального законов (Хальд, 1956). Поэтому в случае выполнения нормального закона распределения содержаний в данной геохимической выборке все центральные характеристики эмпирического распределения концентраций в изучаемом объекте должны совпадать, т.е. оценки, средняя арифметическая величина содержания эле-

мента (M_a), средняя геометрическая (M_r), медиана (M_e) и мода (M_0) равны между собой. В случае же выполнения логнормального закона распределения содержаний элемента все средние оценки содержания элемента в объекте связываются друг с другом при помощи следующего выражения:

$$\lg M_0 = 3 \lg M_e - 2 \lg M_a .$$

При этом считают, что практически $M_r = M_e$ (Разумовский, 1962).

Следовательно, в случае использования логнормальной модели распределения случайных величин для описания закономерностей распределения содержаний химических элементов в объекте возникает более выгодная ситуация: по найденным оценкам средней геометрической величины содержания элемента в объекте и природной логарифмической дисперсии можно расчетным путем определить и все остальные средние оценки величины содержания данного элемента. При этом, вероятно, следует установить, что кривая распределения содержаний элемента в объекте имеет только один максимум, т.е. все использованные для расчетов значения содержаний элемента принадлежат одной генеральной совокупности.

С этой целью можно использовать вероятностную бумагу, которая достаточно быстро и относительно просто позволяет проверить гипотезу о близости найденного эмпирического распределения содержаний элемента модели нормального или логнормального закона распределения случайных величин. Для примера на рис. 11 нами показаны результаты такой проверки согласия эмпирических распределений содержаний для большой группы химических элементов в донных отложениях оз. Су-ури. Как видно, распределения КВК для изученных элементов являются одновершинными с той или иной степенью близости к симметричной форме нормального закона распределения. Отклонения отдельных точек от прямых, особенно на концах распределения, можно объяснить незначительными объемами рассматриваемых выборок значений. В целом же полученные результаты позволяют считать, что для аппроксимации эмпирических распределений содержаний химических элементов в донных отложениях озер логнормальная модель является весьма удобной теоретической функцией распределения. Поэтому в дальнейших исследованиях для оценки средних величин содержания элементов в осадках нами использовалась логнормальная модель закона распределения случайных величин, которая позволяла получить оценки средней арифметической величины для нормального закона распределения. Алгоритм получения таких оценок можно описать следующим образом.

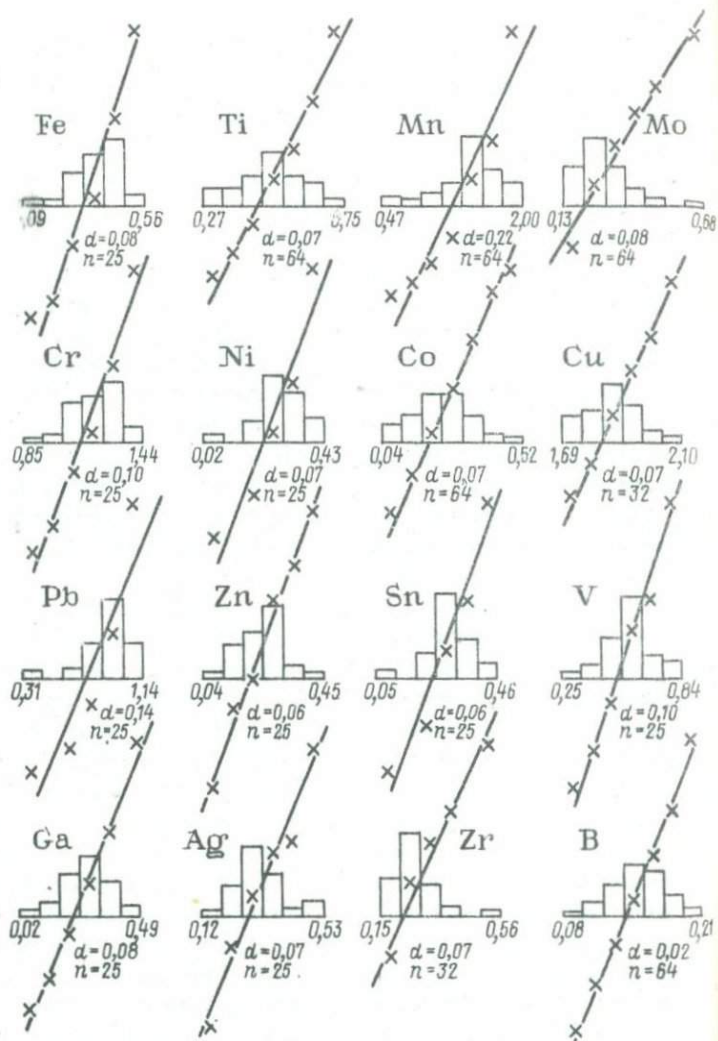


Рис.11. Проверка гипотезы о нормальном законе распределения КВК для химических элементов осадков оз.Суури.

1. В результате статистической обработки спектрограмм, полученных для каждого из 17 проанализированных химических элементов в данной совокупности образцов озерных осадков, получают средние арифметические значения КВК и общие дисперсии в этих единицах. Входят со средним значением КВК в аналитический график, тщательно отстроенный для данного элемента по целой серии стандартных спектрограмм, и снимает с него значение $M_r = \text{anti } \overline{\lg C}$.

2. Вычисляют оценку природной дисперсии в единицах КВК, для чего из общей дисперсии результатов вычитают аналитическую дисперсию. Затем по формуле перевода значений находят природную логарифмическую дисперсию ($D_{\text{пр}}^{\lg}$).

3. С найденными оценками M_r и $D_{\text{пр}}^{\lg}$ входят в формулу связи центральных характеристик логнормального и нормального законов и вычисляют по ней оценку средней арифметической величины содержания элемента в данной совокупности образцов озерных осадков.

Например, рассмотрим эту процедуру вычисления для титана, проанализированного в образцах толщи донных отложений оз. Лопата. Так, при вхождении в аналитический график со средним значением КВК для титана, равным 0,45, получаем оценку $M_r = 0,29\%$. При этом природная, в единицах КВК, дисперсия оказалась равной $D_{\text{пр}} = 0,0289 - 0,0052 = 0,0237$. При тангенсе угла наклона аналитического графика, равного $K = 0,94$, соответствующая ей природная логарифмическая дисперсия будет равна

$$D_{\text{пр}}^{\lg} = \frac{0,0237}{(0,94)^2} = 0,0268.$$

По формуле связи центральных величин нормального и логнормального законов находим оценку средней арифметической величины содержания титана в осадках оз. Лопата

$$\lg M_a = \bar{1},4594 + \frac{0,0268}{0,8686} = \bar{1},4903, \text{ откуда } M_a = 0,3092 \text{ или } M_a = 0,31\%.$$

Из приведенного примера видно, что операции по получению оценок M_r , M_a и $D_{\text{пр}}^{\lg}$ достаточно просты и удобны. Следовательно, если автоматизировать процесс фотометрирования спектрограмм (кстати сказать, такие работы уже проводятся и близки к завершению) и к микрофотометру на выход подключить ЭВМ с заданной программой, то, очевидно, метод эмиссионного спектрального анализа вещества перерастает в специальную геохимическую методику изучения закономерностей распределения содержаний химических элементов в природных объектах.

По описанной выше методике нами изучено распределение содержания 17 химических элементов в толщах донных отложений группы озер северной и южной частей Карельского перешейка. В качестве фактической основы для вычисления оценок средних значений содержания элементов нами использованы только результаты количественного спектрального анализа и только по тем колонкам осадков, для которых общий вес каждого из дециметровых образцов позволял провести дополнительно еще какой-либо из запланированных видов анализа. Общее количество использованного при этом материала озерных осадков, извлеченного при бурении на поверхность и проанализированного при помощи спектрального анализа, представлено нами для большей наглядности в виде плана-схемы вертикальных колонок, длина которых пропорциональна мощности толщи озерных осадков, отобранных в данной точке (рис. 12). Одновременно с этим на плане-схеме дается пространственная ориентация исследованных озер, их расположение на перешейке относительно друг друга, а также формы и относительные размеры их водных зеркал и места бурения в них скважин.

Распределение валовых содержаний химических элементов в толщах донных отложений озер Карельского перешейка

Вопросами распределения концентраций химических элементов в различных горных породах, осадках морей и океанов, живом веществе и других образованиях Земли занимались многие исследователи: В.И. Вернадский, А.Е. Ферсман, В.М. Гольдшмидт, Ф.У. Кларк, А.П. Виноградов, Н.М. Страхов, А.А. Беус, Д.М. Шоу и др. На основе накопленных геохимических данных некоторые из них произвели специальные расчеты и вывели средние арифметические значения содержаний для многих химических элементов (кларки) в отдельных типах горных пород Земли, литосферы, земной коры и т.д. Однако до сих пор кларков элементов для донных отложений озер Земли пока не существует. В связи с этим, для проведения сравнительного анализа нами будут использоваться кларки элементов, выведенные А.П. Виноградовым (1962) для осадочных пород Земли и литосферы.

Для удобства рассмотрения полученных нами результатов исследований разобьем все 17 изученных химических элементов на три группы в соответствии с геохимической классификацией элементов, которую еще в свое время предложил В.М. Гольдшмидт, основываясь на средстве химических элементов к силикатам, сере и железу:

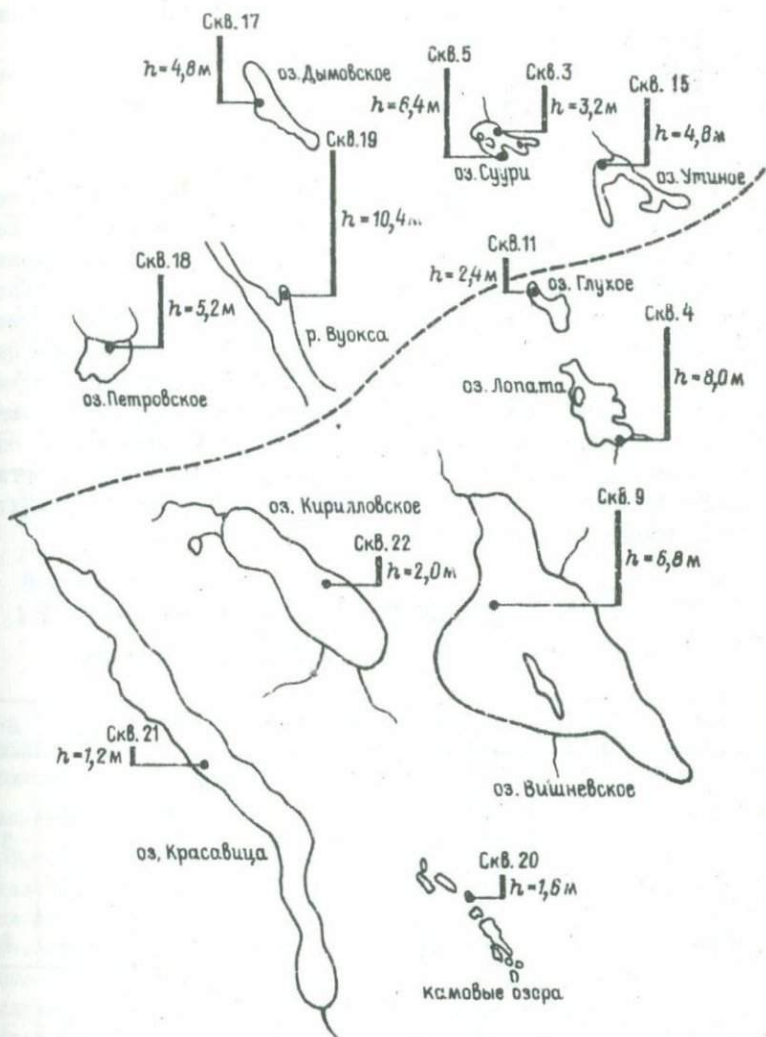


Рис. 12. План-схема исследованных озер Карельского перешейка и мощность некоторых колонок осадков.

1) литофильные элементы (со сродством к силикатам) - кремний, титан, марганец, бор, цирконий, олово и галлий;

2) сидерофильные элементы (со сродством к железу) - железо, хром, ванадий, никель и кобальт;

3) халькофильные элементы (со сродством к сере) - медь, цинк, свинец, молибден и серебро.

Естественно, такая группировка отражает собой лишь определенное приближение к истинному характеру поведения элементов в различных природных условиях, ибо на самом деле некоторые из них, включенные нами в конкретную группу, могут проявлять противоречивый характер и вести себя как элементы другой группы. К таким элементам, например, можно отнести железо, галлий, олово, ванадий и др.

В таблицах 5, 6, 7 приводятся данные статистической оценки природной логарифмической дисперсии содержаний этих групп элементов, проанализированных в образцах толщ донных отложений озер описанным выше способом. При рассмотрении этих данных можно отметить следующие особенности колебаний валовых концентраций химических элементов в толщах озерных осадков.

Т а б л и ц а 5

Оценки природных дисперсий (10^{-4}) логарифмов содержаний литофильных элементов в донных отложениях озер Карельского перешейка

Озера	Число образцов	Si	Ti	Mn	Zr	B	Ga	Sn
Южная часть								
Красавица	11	8	3	241	4	0	39	5
Камовое	16	43	489	2386	1607	1619	76	393
Лопата	55	133	268	274	1292	439	65	41
Глухое	7	31	1029	346	2203	27	55	0
Средние	91	54	447	812	1276	695	59	146
Северная часть								
Дымовское	48	2	5	37	н/о	370	4	0
Суури, скв. 5	64	5	28	561	299	0	388	10
Утиное	48	0,7	78	85	759	0	17	18
Петровское	51	11	54	469	1100	2647	47	23
Р. Вуокса	104	20	23	181	299	2647	29	3
Средние	315	9	38	267	614	1888	97	14

Оценки природных дисперсий (10^{-4}) логарифмов содержаний
сидерофильных элементов
в донных отложениях озер Карельского перешейка

Озера	Число образцов	Fe	Ni	Co	V	Cr
Южная часть						
Красавица	11	9	109	15	23	5
Камовое	18	327	847	7	188	211
Лопата	55	793	363	51	92	492
Глухое	7	998	207	16	103	292
Средние	91	682	382	23	101	250
Северная часть						
Дымовское	48	14	42	3	2	136
Суури, скв. 5	64	264	279	14	73	142
Утиное	48	62	93	12	49	33
Петровское	51	204	254	30	73	142
Р. Вуокса	104	142	109	2	42	72
Средние	315	137	155	12	48	105

1. В целом природная вариабельность логарифмов содержаний всех изученных элементов определяется значениями коэффициента вариации (в долях от целого) в пределах от 0 до 1,72 (коэффициент вариации определялся по формуле $V = \sqrt{10^{A_{np}^{lg}} - 1}$). Равенство коэффициента вариации нулю связано с теми случаями, когда при определении природной дисперсии оказалось, что общая и аналитическая дисперсии практически совпадают и природная дисперсия равна 0. Очевидно, это противоречит неоднородности геохимического пространства и обусловлено, вероятно, тем, что зафиксированная в этих случаях общая дисперсия концентраций элемента практически полностью перекрывается аналитической дисперсией, т.е. случайными ошибками (воспроизводимостью) спектрального анализа. Поскольку все оценки различных дисперсий вычисляются с неизбежными ошибками, то в реальности природная логарифмическая дисперсия, показывающая во сколько раз в среднем, если пересчитать ее в коэффициент вариации, концентрации в различных образцах осадков варьируют от средней геометрической величины в ту или иную сторону, должна отличаться

Т а б л и ц а 7

Оценки природных дисперсий (10^{-4}) логарифмов содержаний
халькофильных элементов
в донных отложениях озер Карельского перешейка

Озера	Число образцов	Mo	Zn	Cu	Pb	Ag
Южная часть						
Красавица	11	37	51	134	2	2
Камовое	18	5979	964	531	203	283
Лопата	55	597	95	470	76	176
Глухое	7	8	7	431	24	54
Средние	91	214	279	392	76	129
Северная часть						
Дымовское	48	32	22	11	7	0
Суури, скв. 5	64	90	37	123	46	153
Утиное	48	67	0	54	12	0
Петровское	51	331	51	54	29	0
Р. Вуокса	104	76	н/о	69	29	29
Средние	315	119	37	62	25	91

от нуля и ее значение может находиться в том интервале значений, который определяется размахом случайных ошибок анализа, т.е. аналитической дисперсией. В наших исследованиях это относится к таким элементам, как бор, серебро, олово и цинк, содержание которых в донных отложениях озер невелико и их определение обычно велось в области предела обнаружения данным методом.

Следовательно, зафиксированные нами случаи равенства природной дисперсии нулю еще раз доказывают, что раз и навсегда необходимо всем исследователям отказаться от широко распространенной на практике привычки судить о вариабельности содержаний элементов в изучаемых объектах по величине общей дисперсии результатов их определения без учета влияния аналитической дисперсии. Кроме того, такие случаи помогают геохимикам вылизать истинные возможности используемых на практике аналитических методов и наметить задачи в области аналитической службы, нацелить исследователей на разработку соответствующих этим требованиям методик.

2. Самое большое колебание содержаний вокруг среднего геометрического, равное 1,72, зафиксировано для молибдена в осадках оз. Камовое, где, как выяснилось, литологический разрез толщи осадков крайне неоднороден: верхи осадков слагают слаборазложившиеся органические остатки водной и наземной растительности, мощностью до 0,8 м, а низы представляют собой разнотекстурированные песчаные отложения с весьма незначительным содержанием тонкодисперсного органического вещества. Содержание молибдена в органических остатках на порядок выше его обычного содержания в песчаных отложениях. Однако в нескольких образцах песчаных осадков отмечены резкие всплески концентрации молибдена, что может быть связано с попаданием в образцы отдельных зерен минералов, обогащенных молибденом. Этот факт требует дополнительных исследований минералогии осадков этого озера и поэтому до выяснения всех причин такого резкого повышения концентраций молибдена в отдельных образцах данные результаты нами не учитывались.

3. Без учета этой аномальной вариабельности молибдена картина природной флуктуации логарифмов содержаний элементов в озерных осадках резко изменяется и пределы колебаний коэффициента вариации уже заметно сокращаются - от 0 до 0,92. Причем наименьшей вариабельностью логарифмов содержаний в озерных осадках обладают пять элементов: Si, Co, V, Pb и Ag - от 0 до 0,26. Несколько большими значениями коэффициентов вариации отличается еще одна группа из пяти элементов: Ga, Sn, Mo, Cr, Cu, для которых пределы колебаний лежат между значениями коэффициента вариации 0,03 и 0,36. Вслед за этой группой можно выделить 4 элемента: Fe, Ti, Ni, Zn, у которых вариабельность вокруг среднего геометрического определяется значениями 0,03 и до 0,52. И, наконец, оставшиеся три элемента - B, Mn и Zr имеют самые высокие значения колебаний коэффициента вариации - от 0,03 до 0,92.

Генетический смысл коэффициента вариации заключается в том, что он несет информацию о пространственном распределении концентрации элемента в веществе озерных осадков: чем меньше его значение, тем равномернее распределение содержаний элемента в веществе. Поэтому при малых содержаниях элемента в осадках можно считать, что элемент рассеивается в нем практически в одинаковых количествах во всех формах своего нахождения, если его коэффициент вариации мал. Для главных элементов, составляющих основу вещества осадков, малое значение и небольшой размах коэффициента вариации будут говорить об относительном постоянстве состава осадков по данному химическому элементу.

В связи с этим можно сказать, что кремний содержится в толщах осадков всех исследованных озер перешейка достаточно равномерно и, являясь главным элементом их вещества, указывает тем самым на относительно постоянный химический состав осадков. В то же время в среднем колебание его содержаний в осадках южной группы озер намного выше ($V = 0,11$), чем в веществе толщ осадков северной части перешейка ($V = 0,04$). Это еще раз подтверждает наш вывод, сделанный ранее при рассмотрении вещественного состава осадков при помощи гранулометрического, термического и других видов анализов.

Что же касается остальных элементов литофильной группы, то среди них еще только два малых элемента распределены в веществе озерных осадков достаточно равномерно — галлий и олово. Такие же элементы, как титан, бор, марганец и цирконий распределены в веществе осадков весьма неравномерно, что может указывать одновременно на присутствие этих элементов в осадках в нескольких формах своего нахождения и неодинаковости распределения в пространстве содержаний элементов в этих формах. Можно легко заметить, что вариабельность логарифмов содержаний для большинства элементов этой группы намного выше в осадках южной части перешейка, если не рассматривать бор и галлий, для которых колебания содержаний вокруг среднего больше в северной группе озер.

Малые элементы сидерофильной группы — кобальт, ванадий и хром, рассеяны в веществе осадков достаточно равномерно ($V = 0 - 0,35$), чего нельзя сказать о железе, для которого природная вариабельность содержаний в осадках достигает значений половины порядка от среднего ($V = 0,51$), а также и никеле ($V = 0,10 - 0,46$). Причем для всех элементов этой группы средние значения природных дисперсий логарифмов содержаний более чем в два раза выше в осадках озер южной части перешейка, а для железа — в 5 раз.

Халькофильные элементы распределены в осадках озер в целом равномерно, так как колебания значений коэффициента вариации для 4 из них — свинца, серебра, меди и молибдена, лежат в пределах от 0 до 0,38. Только для цинка наблюдается несколько повышенная вариабельность его содержаний, у которого $V = 0,04 - 0,50$. Так же как и для большинства элементов других групп, средние величины природных дисперсий логарифмов содержаний халькофильных элементов в осадках озер южной части перешейка отличаются более высокими значениями от таковых для осадков озер северной части.

4. При визуальном рассмотрении данных о вариабельности химических элементов в толщах озерных осадков нами отмечалось, что для

большинства элементов величина природной логарифмической дисперсии заметно больше для осадков южной группы озер. В связи с этим возникла необходимость сравнить вариабельность содержаний элементов в двух частях перешейка на основе объективного математического приема. Как это обычно и делается на практике, такая задача решалась нами при помощи критерия Фишера, по которому степень различия между дисперсиями характеризуется при заданной доверительной вероятности отношением этих дисперсий $-F$, критическое значение которого можно найти в специальных таблицах. В нашем случае при доверительной вероятности $P = 0,8$, $P = 0,95$ и $P = 0,9$ и числе степеней свободы $N_1 = 4$ и $N_2 = 5$ (число сравниваемых озер в южной и северной части перешейка), численные значения критерия Фишера соответственно равны $F = 2,2$, $F = 5,2$ и $F = 11,4$. С этими критическими значениями F сравнивались все вычисленные значения отношений природных логарифмических дисперсий для трех рассматриваемых групп элементов. Оказалось, что для кобальта, ванадия, молибдена, серебра, галлия и циркония различия величин природных логарифмических дисперсий являются незначительными ($F < 2,2$) и лежат в границах их возможных случайных колебаний, т.е. природная вариабельность содержаний этих элементов в толщах озерных осадков двух частей перешейка носит односторонний характер.

В то же время, для всех остальных элементов наблюдаются существенные различия между значениями их природных логарифмических дисперсий в южной и северной группе озер, хотя и с разной доверительной вероятностью. С $P = 0,8$ различия установлены для железа, марганца, никеля, хрома, свинца и бора. С $P = 0,95$ существенные различия в вариабельности элементов найдены для кремния, олова, меди и цинка. Особенно сильные различия в значениях природных логарифмических дисперсий наблюдаются для титана $-F = 11,76$, что оценивается с доверительной вероятностью $P = 0,99$.

Следует заметить, что нулевые значения природных логарифмических дисперсий при вычислении средних их значений по каждой группе озер нами во внимание не принимались, хотя на самом деле эти значения отличны от 0 и лежат где-то в пределах величины аналитической дисперсии. В то же время, малые значения дисперсий в расчетах учитывали. Поэтому для некоторых элементов вычисленные значения F несколько занижены. Например, если отбросить для циркония из ряда выходящее значение его природной логарифмической дисперсии по оз. Красавица, то значение величины F резко возрастет ($F = 2,76$) и различие в вариабельности концентраций циркония в различных час-

тах перешейка уже станет значимым с $P = 0,80$, что более соответствует реальности.

Таким образом, основываясь на данных о значениях природных логарифмических дисперсий для большинства химических элементов, по крайней мере 11 элементов, можно сказать, что геохимические процессы, генерирующие на перешейке определенные концентрации элементов в донные отложения озер, весьма существенно отличаются по своему характеру в южной и северной его частях. Это еще раз подтверждает ранее сделанные нами выводы, основанные, например, на различии кривых изменения энтропии фракционной сортированности озерных осадков.

Рассмотрим теперь особенности распределения валовых содержаний химических элементов в толщах донных отложений озер южной и северной частей перешейка, данные о которых приводятся нами в таблицах 8, 9, 10.

1. В первую очередь обращает на себя внимание тот факт, что в целом для всех трех групп рассматриваемых элементов различия в оценках средних геометрических и средних арифметических величин концентрации практически незначительны. Из 153 рассматриваемых здесь их оценок 64 оказались равными друг другу, т.е. в 41,8% случаях для характеристики центральных величин распределения содержаний элементов в толщах озерных осадков можно с равным успехом использовать любую из двух теоретических моделей — нормального или логнормального закона распределения. Резко различающиеся оценки для этих средних величин содержания элементов в толщах озерных осадков можно заметить лишь в нескольких случаях: для молибдена, бора, циркония и цинка — в оз.Камовое, для бора и циркония — в оз.Петровское, для циркония и титана — в оз.Глухое, а также для бора — в осадках р.Вуокса, т.е. вообще только в 6% случаев. Причем во всех этих случаях это связано с резким увеличением значений природных логарифмических дисперсий для этих элементов, что может быть вызвано отличием функций их распределения от нормального закона. В большинстве остальных случаев оценки средней геометрической и средней арифметической величины содержания элементов в толщах озерных осадков отличаются друг от друга на весьма малую, практически на несущественную величину.

Следовательно, разработанный и использованный нами в настоящих исследованиях способ оценок средних величин является весьма эффективным, так как позволяет не только получать достаточно объективные их оценки, но и в определенной мере указывает на близость

Т а б л и ц а 8

Оценки средних уровней количественного содержания (%)
 литофильных элементов
 в донных отложениях озер Карельского перешейка

Озера	Число образцов	Si, 10 ⁰	Ti, 10 ¹	Mn, 10 ¹	Zr, 10 ³	B, 10 ⁻³	Ga, 10 ⁻³	Sn, 10 ⁻³
Южная часть								
Красавица	11	<u>32,2</u>	<u>3,7</u>	<u>0,7</u>	<u>51</u>	<u>3,8</u>	<u>6,8</u>	<u>3,3*</u>
		32,2	3,7	0,7	51	3,8	6,9	3,3
Камовое	18	<u>25,7</u>	<u>2,6</u>	<u>1,4</u>	<u>16</u>	<u>7,2</u>	<u>7,4</u>	<u>4,0</u>
		26,0	2,9	2,6	24	11,0	7,6	4,4
Лопата	55	<u>33,9</u>	<u>2,9</u>	<u>1,5</u>	<u>4,2</u>	<u>5,1</u>	<u>7,1</u>	<u>3,5</u>
		35,1	3,1	1,6	5,9	5,7	7,2	3,5
Глухое	7	<u>26,0</u>	<u>6,3</u>	<u>1,2</u>	<u>25</u>	<u>2,7</u>	<u>7,6</u>	<u>4,4</u>
		26,2	8,3	1,3	45	3,1	7,7	4,4
Средние	91	<u>29,5</u>	<u>3,9</u>	<u>1,2</u>	<u>24,0</u>	<u>4,7</u>	<u>7,2</u>	<u>3,8</u>
		29,9	4,5	1,6	31,5	5,9	7,4	3,9
Северная часть								
Дымовское	48	<u>27,8</u>	<u>2,5</u>	<u>1,6</u>	<u>1,6</u>	<u>17,0</u>	<u>9,5</u>	<u>3,8</u>
		27,8	2,5	1,6	1,6	19,0	9,5	3,8
Суури, скв.5	64	<u>28,6</u>	<u>2,6</u>	<u>1,1</u>	<u>2,0</u>	<u>3,8</u>	<u>7,6</u>	<u>3,5</u>
		28,6	2,6	1,2	2,2	3,8	8,4	3,5
Утинное	48	<u>26,9</u>	<u>2,8</u>	<u>0,9</u>	<u>5,0</u>	<u>3,1</u>	<u>7,7</u>	<u>3,5</u>
		26,9	2,9	0,9	6,1	3,1	7,7	3,5
Петровское	51	<u>33,7</u>	<u>4,2</u>	<u>2,2</u>	<u>4,8</u>	<u>5,1</u>	<u>13,0</u>	<u>4,9</u>
		33,8	4,3	2,5	6,4	10,0	13,0	4,9
р.Вуокса	104	<u>34,3</u>	<u>2,8</u>	<u>2,1</u>	<u>2,7</u>	<u>7,2</u>	<u>9,4</u>	<u>4,3</u>
		34,5	2,8	2,2	2,9	14,0	9,5	4,3
Средние	315	<u>30,3</u>	<u>3,0</u>	<u>1,6</u>	<u>3,2</u>	<u>7,2</u>	<u>9,4</u>	<u>4,0</u>
		30,3	3,0	1,7	3,8	10,0	9,6	4,0

* В числителе средняя геометрическая величина (M_r) содержания элемента в знаменателе — средняя арифметическая (M_a).

Оценки средних уровней количественного содержания (%)
сидерофильных элементов
в донных отложениях озер Карельского перешейка

Озера	Число образцов	Fe, 10 ⁰	Ni, 10 ⁻³	Co, 10 ⁻³	V, 10 ⁻³	Cr, 10 ⁻³
Южная часть						
Красавица	11	<u>2,2</u>	<u>0,8</u>	<u>2,0</u>	<u>3,6</u>	<u>1,7*</u>
		2,2	0,8	2,0	3,6	1,7
Камовое	18	<u>4,6</u>	<u>1,4</u>	<u>2,0</u>	<u>5,1</u>	<u>2,2</u>
		5,9	1,8	2,0	5,4	2,3
Лопата	55	<u>3,0</u>	<u>2,6</u>	<u>1,9</u>	<u>5,1</u>	<u>3,6</u>
		3,7	2,9	1,9	5,2	4,1
Глухое	7	<u>3,7</u>	<u>1,3</u>	<u>2,2</u>	<u>9,2</u>	<u>2,8</u>
		4,8	1,4	2,2	9,5	3,0
Средние	91	<u>3,4</u>	<u>1,5</u>	<u>2,0</u>	<u>5,8</u>	<u>2,6</u>
		4,2	1,7	2,0	5,9	2,8
Северная часть						
Дымовское	48	<u>4,4</u>	<u>2,5</u>	<u>2,5</u>	<u>6,1</u>	<u>4,1</u>
		4,4	2,5	2,5	6,1	4,2
Суури, скв.5	64	<u>4,0</u>	<u>3,0</u>	<u>2,1</u>	<u>4,7</u>	<u>4,0</u>
		4,2	3,2	2,1	4,8	4,2
Утиное	48	<u>3,4</u>	<u>1,5</u>	<u>2,3</u>	<u>6,1</u>	<u>3,0</u>
		3,4	1,5	2,3	6,2	3,0
Петровское	51	<u>7,6</u>	<u>4,8</u>	<u>2,7</u>	<u>8,1</u>	<u>5,4</u>
		8,0	5,1	2,7	8,3	5,6
р.Вуокса	104	<u>5,7</u>	<u>3,6</u>	<u>2,1</u>	<u>5,8</u>	<u>4,1</u>
		5,9	3,7	2,1	5,9	4,2
Средние	315	<u>5,0</u>	<u>3,1</u>	<u>2,3</u>	<u>6,2</u>	<u>4,1</u>
		5,2	3,3	2,3	6,3	4,2

* В числителе средняя геометрическая величина содержания элемента (M_r), в знаменателе - средняя арифметическая (M_0).

Таблица 10

Оценки средних уровней количественного содержания (%)
халькофильных элементов
в донных отложениях озер Карельского перешейка

Озера	Число образцов	Zn, 10 ⁻³	Cu, 10 ⁻³	Pb, 10 ⁻³	Ag, 10 ⁻⁶	Mo, 10 ⁻⁵
<u>Южная часть</u>						
Красавица	11	<u>6,5</u>	<u>1,6</u>	<u>2,6</u>	<u>9,1</u>	<u>7,4*</u>
		6,6	1,7	2,6	9,2	7,5
Камовое	18	<u>8,0</u>	<u>4,1</u>	<u>3,9</u>	<u>14,0</u>	<u>40</u>
		10,0	4,7	4,1	15,0	160
Лопата	55	<u>7,0</u>	<u>4,2</u>	<u>2,0</u>	<u>9,1</u>	<u>7,8</u>
		7,2	4,8	2,0	9,5	9,1
Глухое	7	<u>5,0</u>	<u>3,4</u>	<u>1,6</u>	<u>8,0</u>	<u>5,9</u>
		5,0	3,8	1,6	8,1	5,9
Средние	91	<u>6,6</u>	<u>3,3</u>	<u>2,5</u>	<u>10,0</u>	<u>7,0</u>
		7,2	3,8	2,6	10,0	7,5
<u>Северная часть</u>						
Дымовское	48	<u>8,5</u>	<u>3,4</u>	<u>2,3</u>	<u>8,5</u>	<u>8,8</u>
		8,5	3,4	2,3	8,5	8,9
Суури, скв.5	64	<u>7,5</u>	<u>3,5</u>	<u>2,8</u>	<u>9,7</u>	<u>7,4</u>
		7,6	3,6	2,8	10,0	7,6
Утиное	48	<u>5,0</u>	<u>3,3</u>	<u>1,7</u>	<u>7,4</u>	<u>6,6</u>
		5,0	3,3	1,7	7,4	6,7
Петровское	51	<u>9,3</u>	<u>6,6</u>	<u>4,1</u>	<u>9,0</u>	<u>10,0</u>
		9,4	6,7	4,1	9,0	12,0
р. Вуокса	104	<u>8,9</u>	<u>4,6</u>	<u>3,3</u>	<u>8,4</u>	<u>8,4</u>
		8,9	4,7	3,3	8,5	8,6
Средние	315	<u>7,8</u>	<u>4,3</u>	<u>2,8</u>	<u>8,6</u>	<u>8,2</u>
		7,9	4,3	2,8	8,7	8,8

* В числителе средняя геометрическая величина содержания элемента (M_r), в знаменателе - средняя арифметическая (M_a).

эмпирических распределений к нормальной и логнормальной модели и дает возможность выявить резко неоднородные совокупности содержащий элементов.

2. В связи с тем, что при помощи критерия Фишера нами было установлено объективное различие в характере процессов, приводящих к накоплению толщ осадков в озерах северной и южной части перешейка, то прибегать к применению количественных критериев различия концентраций элементов для этих двух частей перешейка нет никакой необходимости. Однако и при визуальном сравнении уровней количественного содержания элементов в осадках можно легко обнаружить такие различия. В первую очередь, обращают на себя внимание весьма высокие концентрации циркония в толщах осадков озер южной группы, где его среднее содержание почти в 8,5 раз больше, чем в осадках озер северной группы. Кроме того, в осадках южной части в 1,5 раза больше накапливается титана и почти в 1,2 раза — серебра. Это легко объяснить различием в геологическом и литологическом строении двух рассматриваемых частей перешейка. В южной его части четвертичные отложения представлены на поверхности повсеместно и имеют по сравнению с северной частью более значительные мощности. Эти отложения представлены здесь в основном песками, супесями, суглинками и т.д. На этих отложениях широкое распространение получают в основном почвы подзолистого типа, например дерново-слабоподзолистые и дерново-подзолистые почвы. В северной же части, особенно по скалистым берегам озер, развиваются примитивно-аккумулятивные почвы на мало мощном элювио-делювио кристаллических пород. Если вспомнить также, что в составе тяжелой фракции покровных отложений можно встретить до 3,5% циркона, около 1,5% рутила и почти 1% сфена, то становится вполне понятным источник повышенных концентраций циркония и титана в осадках озер южной части. Ведь минералы этих элементов труднорастворимы и потому эти элементы мигрируют в основном в виде твердых взвесей. Достигая вместе с водами пределов водоема, эти частички осаждаются на дно озера в заметных количествах, увеличивают относительное содержание этих элементов в осадках. В то же время значительные содержания циркония и титана в минеральных формах нахождения могут приводить к резким колебаниям их общего, валового содержания в осадках из-за случайных изменений скоростей миграционных потоков и общего количества в них твердых взвесей, что и зафиксировано нами в оценках природных логарифмических дисперсий содержаний этих элементов в толщах осадков южных озер. Что же касается несколько повышенных концентраций серебра в южных осадках, то

Т а б л и ц а II

Распределение содержаний химических элементов в донных отложениях современных озер Карельского перешейка (M_a^c), северной (M_a^c) и южной (M_a^c) его частях и их сравнение с кларками литосферы (K_L) и осадочных пород ($K_{оп}$) (по А.П.Виноградову, 1962)

Элементы	M_a^c	$M_a^{ю}$	$M_a^к$	K_L	$K_{оп}$	$M_a^c/M_a^{ю}$	M_a^c/K_L	$M_a^c/K_{оп}$	$M_a^{ю}/K_L$	$M_a^{ю}/K_{оп}$	$M_a^к/K_L$	$M_a^к/K_{оп}$
Кремний, 10^0	30,3	29,9	30,1	29,5	23,8	1,01	1,03	1,27	1,01	1,26	1,02	1,26
Титан, 10^{-1}	3,0	4,5	3,75	4,5	4,5	0,67	0,67	0,67	1,00	1,00	0,83	0,83
Марганец, 10^{-1}	1,7	1,6	1,65	1,0	0,67	1,06	1,70	2,54	1,60	2,39	1,65	2,46
Цирконий, 10^{-3}	3,8	31,5	17,65	17,0	20,0	0,12	0,22	0,19	1,85	1,58	1,04	0,88
Бор, 10^{-3}	10,0	5,9	7,95	1,2	10,0	1,69	8,33	1,00	4,92	0,59	6,62	0,79
Галлий, 10^{-3}	9,6	7,4	8,50	1,9	3,0	1,30	5,05	3,20	3,89	2,47	4,47	2,83
Олово, 10^{-4}	4,0	3,9	3,95	2,5	10,0	1,03	1,60	0,40	1,56	0,39	1,58	0,39
Железо, 10^0	5,2	4,2	4,70	4,65	3,33	1,24	1,12	1,56	0,90	1,26	1,01	1,41
Никель, 10^{-3}	3,2	1,7	2,45	5,8	9,5	1,88	0,55	0,34	0,29	0,18	0,42	0,26
Кобальт, 10^{-3}	2,3	2,0	2,15	1,8	2,0	1,15	1,28	1,15	1,11	1,00	1,19	1,08
Ванадий, 10^{-3}	6,3	5,9	6,10	9,0	13,0	1,07	0,70	0,48	0,66	0,45	0,68	0,47
Хром, 10^{-3}	4,2	2,8	3,50	8,3	10,0	1,50	0,51	0,42	0,34	0,28	0,42	0,35
Цинк, 10^{-3}	7,9	7,2	7,55	8,3	8,0	1,10	0,95	0,99	0,87	0,90	0,91	0,94
Медь, 10^{-3}	4,3	3,8	4,05	4,7	5,7	1,13	0,91	0,75	0,81	0,67	0,86	0,71
Свинец, 10^{-3}	2,8	2,6	2,70	1,6	2,0	1,08	1,75	1,40	1,62	1,30	1,69	1,35
Серебро, 10^{-6}	8,7	10,0	9,35	7,0	10,0	0,87	1,24	0,87	1,43	1,00	1,34	0,94
Молибден, 10^{-5}	8,8	7,5	8,15	11,0	20,0	1,17	0,80	0,44	0,68	0,38	0,74	0,41
					\sum_{17}	19,07	28,41	17,67	24,54	17,10	26,47	17,36
					R_{17}	1,12	1,67	1,04	1,44	1,01	1,56	1,02

это, вероятнее всего, можно объяснить некоторым накоплением его в органической составляющей осадков.

Остальные химические элементы имеют несколько повышенные содержания в толщах осадков озер северной части перешейка, что особенно легко заметить даже при визуальном рассмотрении табл. II, где наряду с другой информацией приведены численные значения отношений средних арифметических оценок содержания элементов в осадках озер сравниваемых частей. По данным этой таблицы такие элементы, как кремний, олово, марганец, ванадий, свинец, цинк, а также, вероятно, медь, кобальт и молибден, хотя и имеют тенденцию к относительному накоплению своих концентраций в толщах осадков озер северной части перешейка, но увеличение их содержаний здесь невелико — всего от I до 17%. В целом это можно объяснить более промывным режимом вод и связанным с ним некоторым обеднением почвогрунтов этими элементами в южной части перешейка, а также несколько меньшей выветрелостью поверхностных отложений в северной части, где нередко на дневную поверхность непосредственно выходят кристаллические породы, которые относительно обогащены концентрациями этих элементов. В особенности это хорошо видно, если сравнить содержания всех исследованных элементов в озерных осадках северной части с таковыми в осадках оз. Петровское, озерная ванна которого и субстрат окружающего озера ландшафта построены из гранитов-рапакиви — легко разрушаемых процессами выветривания и обогащающих тем самым донные отложения этими элементами.

Однако более всего обогащены толщи осадков в озерах северной части перешейка концентрациями таких элементов, как никель, бор, хром, галлий и железо, увеличение содержаний которых по сравнению с осадками южных озер весьма значительно — от 24 до 88%. Такие повышенные содержания этих элементов в осадках севера перешейка также связаны с отличительными особенностями минералого-петрографического состава горных пород, слагающих здесь водосборные площади. В основном это выходы крупных массивов изверженных кристаллических пород кислого состава, относительно богатых железистыми и другими рудными минералами, например, титаномагнетитом, никель-пиритом, вероятно, борсодержащим турмалином и т.д. В процессе выветривания этих пород и выноса в озера продуктов их выветривания и происходит относительное повышение концентраций названных элементов в толщах осадков тех озер северной группы, у которых водосборные площади более всего сложены выходами таких пород. Следует заметить, что в среднем содержания элементов сидерофильной группы на 37% выше в

осадках северной части, в то время как содержания элементов литофильной группы в среднем на 2% выше в толщах осадков озер южной группы, хотя бор и галлий имеют значительно высокие концентрации в осадках севера и относятся нами к группе литофилов. Халькофильные же элементы в целом имеют тенденцию к накоплению в осадках озер северной части перешейка, несмотря на то, что один из элементов их группы обладает противоположным характером — больше накапливаться в осадках южных озер.

Сказанное можно подтвердить данными, полученными для ряда химических элементов при анализе двух разновидностей гранитов — серого и розоватого, которые достаточно широко распространены в пределах северо-восточной части Карельского перешейка и слагают собой сельги на водосборных площадях озер Утиное и Суури. Сравнение данных табл. I2 со средними арифметическими оценками содержания рассматриваемых элементов в целом по всем толщам озерных осадков северной части перешейка подтверждает вышесказанное.

Т а б л и ц а 12

Содержание некоторых химических элементов
в образцах гранитов северо-восточной части
Карельского перешейка, вес. %

Элементы	Серый гранит	Розоватый гранит	Элементы	Серый гранит	Розоватый гранит
Титан	0,15	0,16	Медь	0,0020	0,0023
Марганец	0,067	0,074	Хром	0,0028	0,0032
Кобальт	0,002	0,0017	Олово	0,00034	0,0003
Никель	0,0032	0,0026	Свинец	0,0032	0,0024
Ванадий	0,0032	0,0033	Галлий	0,007	0,008

3. Результаты определения средних арифметических оценок содержания химических элементов отдельно в толщах озерных осадков северной и южной части перешейка позволяют вывести такие оценки и для всего перешейка, т.е. хотя бы в первом приближении оценить значения региональных кларков исследованных элементов для толщ донных отложений современных озер. Такие сведения по Карельскому перешейку в целом приводятся нами в табл. II. Сравнивая эти данные, а также данные о содержании элементов в осадках озер северной и южной части перешейка с кларками их в литосфере и осадочных породах, можно выявить общие тенденции в распределении концентраций

рассматриваемых элементов. Результаты такого сравнительного анализа также приводятся в табл. II.

Как это видно из таблицы, относительно кларка литосферы в толщах озерных осадков северной части перешейка наблюдаются пониженные концентрации для циркония, хрома, никеля, титана, ванадия, меди, молибдена и цинка, т.е. в данном случае эти элементы можно назвать дефицитными. В то же время, такие элементы, как кремний, железо, серебро, кобальт, олово, марганец, свинец, галлий и бор — содержатся в озерных осадках в концентрациях, больших, чем кларк литосферы, т.е. эти элементы для осадков озер северной части перешейка можно назвать избыточными. Что же касается сравнения этих данных с кларками элементов для осадочных пород, то в целом дефицитные элементы сохраняют свою тенденцию и даже в ряде случаев еще более контрастно показывают недостаточность своих концентраций в осадках озер северной части перешейка, например, никель, ванадий, хром, медь, молибден и цирконий. Вместе с тем, некоторые избыточные элементы несколько увеличивают в этом отношении свою роль, например, кремний, марганец, железо, концентрации которых в осадках северных озер значительно превышают кларки этих элементов для осадочных пород. Ряд избыточных элементов — бор, галлий, кобальт и свинец, хотя и сохраняют свою геохимическую специализацию, но все же несколько уменьшают свою относительную концентрацию, а бор даже практически как бы уравнивает свои содержания с кларком осадочных пород. Такие же элементы, как олово и серебро, относительно их кларков для осадочных пород, оказываются уже дефицитными элементами.

Если говорить о целых группах рассматриваемых нами элементов, то группа литофильных элементов в целом как бы обладает тенденцией к накоплению в осадках озер северной части перешейка: относительно их кларков в литосфере — в 2,65 раза выше, а относительно их кларков для осадочных пород — в 1,32 раза. В то же время цирконий и титан остаются в обоих случаях дефицитными элементами. Сидерофильная группа элементов, наоборот, относительно их кларков испытывает дефицитность концентраций в осадках озер северной части, т.е. эти элементы как бы рассеиваются в пространстве, хотя среди них два элемента — железо и кобальт, обладают четко выраженной тенденцией к накоплению в осадках. Халькофильная группа элементов в целом имеет несколько повышенные концентрации относительно кларков в литосфере, но по отношению к их кларкам для осадочных пород эта группа элементов все же является дефицитной, хотя свинец в обоих случаях остается избыточным элементом.

Такой же сравнительный анализ можно провести и для осадков озер южной части перешейка, а также и для содержаний элементов в толщах озерных осадков всего Карельского перешейка. Однако, как нам представляется, в этом нет необходимости. Отметим лишь следующее: общие тенденции в распределении содержаний всех трех групп элементов в целом сохраняются, но все же некоторые из них меняют характер своего поведения, например, цирконий, который из группы явно дефицитных элементов в осадках северной части перешейка переходит в разряд элементов избыточных, накапливающихся в осадках озер южной части. Здесь также увеличиваются концентрации титана и доходят до кларкового уровня, что можно сказать и о серебре. Другие же элементы несколько снижают свои содержания, в особенности бор, который даже становится относительно его кларка в осадочных породах дефицитным элементом. То же следует сказать о боре в толщах осадков всех озер перешейка. Причем для толщ озерных осадков всего Карельского перешейка явно избыточные концентрации относительно кларков литосферы и осадочных пород имеют такие элементы, как кремний, марганец, галлий, железо, кобальт и свинец. К дефицитным элементам озерных осадков Карельского перешейка можно отнести: титан, никель, ванадий, хром, медь, цинк, молибден. Остальные элементы, в зависимости от того, с кларком какой подсистемы Земли они сравниваются, можно отнести либо к избыточным, либо к дефицитным элементам.

Более общую информацию о характере распределения содержаний всех 17 изученных нами химических элементов в толщах озерных осадков может дать коэффициент накопления элементов $-R_{17}$ (Шкоу, 1969), результаты вычисления которого приводятся в табл. II. Он показывает, что в среднем в осадках озер северной части перешейка по сравнению с южной происходит аккумуляция этих элементов приблизительно на 12%. Это можно видеть и по значению этого коэффициента, вычисленного относительно кларков для литосферы и осадочных пород: для осадков озер северной части перешейка он значительно выше, чем для осадков южных озер. Можно также заметить, что относительно осадочных пород накопление элементов небольшое: в осадках северных озер - на 4%, для южных - на 1% и в целом для перешейка - на 2%. Особенно большая аккумуляция содержаний элементов в озерных осадках наблюдается относительно кларка литосферы: для северных озер - на 67%, для южных - на 44% и для всего перешейка - на 56%.

4. Результаты сравнительного анализа содержаний химических элементов в толщах озерных осадков Карельского перешейка позволяют акцентировать наше внимание на особенностях поведения некоторых эле-

ментов, явно избыточных: марганца, галлия, железа и свинца. Однако два из них — галлий и свинец, менее интересны своим поведением, так как распределение содержаний этих элементов в толщах осадков различных озер перешейка достаточно равномерно и их можно отнести к рассеянным элементам, несмотря на относительно высокий по сравнению с кларками их уровень количественного содержания. Большой интерес представляют марганец и железо, коэффициенты вариации логарифмов содержаний которых в осадках различных озер перешейка соответственно определяются следующими размахами значений: 0,09 — 0,85 и 0,04 — 0,51, что может указывать на определенное разнообразие форм их нахождения в ландшафтах перешейка.

Полученные нами данные о содержании этих элементов в озерных осадках достаточно хорошо согласуются с результатами, полученными, например, Н.И.Семеновичем (1966) для донных отложений Ладожского озера, с востока омывающего Карельский перешеек. По данным этого автора, содержание железа в осадках этого одного из "великих" пресноводных водоемов Земли равно 4,49% (средневзвешенное содержание для осадков всего озера), что очень близко к нашей оценке среднеарифметического содержания в толщах осадков Карельского перешейка (4,7%). Это также согласуется с мнением В.В.Пономаревой (1959), которая на основании повышенных концентраций железа на перешейке считает, что Карельский перешеек входит в состав обширной "железистой" провинции. Наши данные еще раз подтверждают это.

Если железо проявляет на перешейке заметную подвижность и заметно обогащает осадки озер, то марганец, являясь также весьма активным мигрантом, в конечных водоемах стока, по-видимому, более резко снижает свою миграционную способность и потому накапливается в донных отложениях озер перешейка в большей степени, чем железо. В ряде озер в поверхностных слоях осадков, например в оз.Утиное, наблюдались мелкие конкреционные стяжения; в которых концентрация марганца достигала 1% и выше. В осадках Ладожского озера, граничащего с перешейком, картина распределения содержаний марганца имеет аналогичный характер. По этому поводу Н.И.Семенович пишет следующее: "В осадках всех типов его содержание превысило кларк (0,1% Mn). В глинистых илах количество Mn было в восемь раз больше этой величины, а среднее взвешенное — в пять раз превышало кларк. ... Таким образом, в котловине Ладожского озера имеет место накопление марганца в донных отложениях в количествах, значительно превышающих кларковые концентрации. Количество марганца по отдельным станциям в осадках всех типов колебалось в значительном диапазоне, что ука-

зывает на большую изменчивость его локальной концентрации, чем это имеет место для железа" (Семенович, 1966, с.79). В осадках Финского залива нами также наблюдались значительные концентрации Mn и даже в некоторых случаях были встречены большие скопления железомарганцевых конкреций (Тарновский, Лабзин, 1969).

Отмеченные особенности поведения марганца в осадках перешейка и граничащих с ним крупных бассейнов, а также известная способность окислов марганца поглощать катионы благодаря их отрицательному заряду, позволяют считать марганец типоморфным элементом ландшафтов Карельского перешейка. По нашему мнению, Карельский перешеек следует считать совместно с окружающей его территорией не только железистой, но и "марганцевистой" провинцией, точнее, железисто-марганцевистой геохимической провинцией.

Формы нахождения химических элементов в озерных осадках и их геохимические ассоциации

Ранее было показано, что донные отложения озер представляют собой многокомпонентные, гетерогенные биокосные системы или, иначе говоря, сложные смеси неорганических и органических веществ. Поэтому рассмотренные выше закономерности распределения в них валовых содержаний химических элементов не могут раскрыть сложной картины внутреннего распределения концентраций их атомов по отдельным формам нахождения элементов в осадке или по некоторым составляющим этой сложной смеси природных продуктов. В связи с этим, нами исследовались различные приемы и методы извлечения их осадков более глубокой геохимической информации, изучались возможности практического разделения вещества осадков на отдельные ингредиенты и определения содержаний элементов в них. При этом было совершенно очевидно, что задача изучения форм нахождения элементов в осадках чрезвычайно сложна, а составляющие ингредиенты столь многообразны, что решить такую задачу с исчерпывающей полнотой вряд ли удастся.

Известно, что в геохимии под формами нахождения химических элементов понимают разные группы систем равновесия их атомов в природных объектах. В веществе осадков можно выделить четыре основных типа конечных природных продуктов, в которых химические элементы могут присутствовать в разных формах своего нахождения:

- 1) органическое вещество;

2) минералы и продукты выветривания кристаллических изверженных и метаморфических пород;

3) вторичные образования зоны гипергенеза (низкотемпературные и водоосадочные минералы, различные окислы элементов и др.);

4) жидкие и твердые растворы осадка и поглощающий комплекс.

Очевидно, возникновение этих продуктов в осадках тесно связано с действием на водосборе и в самом водоеме четырех основных групп процессов, типов миграции химических элементов, которые подчиняются соответственно химической, физической, механической и биологической формам движения материи. Выделение таких составляющих из осадков и определение в них содержаний химических элементов явилось бы идеальным вариантом решения задачи по выяснению форм нахождения элементов в осадках. Однако в полной мере соответствующих этой схеме рациональных методов анализа осадков в аналитической практике не существовало. Поэтому нами была предпринята попытка разработать рациональную методику анализа осадков в соответствии с указанной схемой, первоначальный вариант которой изложен ранее. Вместе с тем в настоящих исследованиях нами использованы более простые приемы получения данных о распределении содержаний элементов в отдельных ингредиентах осадков, например определение концентраций элементов в тонкодисперсной фракции осадков, в водной и кислотной вытяжке из осадков.

В связи с тем что в осадках важное значение приобретает адсорбированная форма нахождения элементов, связанная с тонкодисперсными составными частями осадков, нами была выделена из осадков ряда озер фракция $< 0,001$ мм, в которой определены концентрации всех 17 химических элементов. Результаты таких анализов сведены нами в табл. 13. Как показывают данные этой таблицы, варибельность концентраций химических элементов в этой фракции осадков в целом невелика, например, для осадков оз. Утиное она равна около 20% от средней геометрической величины содержания элементов. Однако для некоторых элементов, например циркония в осадках оз. Вишневокое, вариация содержаний вокруг этой средней оценки достигает величины 80%, а для серебра в осадках оз. Лопата — даже 85%. Но в среднем все же можно принять, что концентрации элементов в этой фракции осадков распределены достаточно равномерно.

Что же касается уровней количественного содержания химических элементов в этой фракции, то они в целом весьма близки к значениям валовых концентраций этих элементов в неразделенном веществе осадков озер Утиное и Лопата (данные о валовом содержании элементов в

Оценки средних содержаний (вес.%)
и природной логарифмической дисперсии
содержания элементов во фракции $< 0,001$ мм
донных отложений озер Карельского перешейка

Элемент	оз. Утинное, n = 22			оз. Лопата, n = 32			оз. Вишневское, n = 23		
	M_r	M_a	$D_{пр}^{**}$	M_r	M_a	$D_{пр}^{**}$	M_r	M_a	$D_{пр}^{**}$
Si, 10^0	28,2	28,3	20	28,6	28,8	25	27,4	27,7	37
Ti, 10^{-1}	3,6	3,7	132	2,6	2,7	104	4,7	5,4	540
Mn, 10^{-1}	1,4	1,5	309	2,5	2,6	274	3,5	3,9	385
Zr, 10^{-3}	1,8	1,9	114	1,4	1,5	199	1,7	3,0	2203
V, 10^{-3}	5,1	5,3	178	5,1	5,2	82	3,3	3,4	82
Ga, 10^{-3}	8,6	9,0	164	7,4	7,6	122	5,4	5,5	97
Sn, 10^{-4}	4,4	4,5	74	3,7	3,8	114	3,0	3,2	189
Fe, 10^0	4,0	4,5	404	4,6	5,5	669	2,3	3,1	859
Ni, 10^{-3}	2,1	2,3	306	2,6	3,0	562	1,0	1,2	718
Co, 10^{-3}	1,8	1,8	4	1,9	1,9	13	1,8	1,8	13
V, 10^{-3}	4,3	4,4	114	4,7	5,0	299	2,9	3,2	248
Cr, 10^{-3}	3,8	3,8	211	4,1	4,7	550	1,7	1,7	386
Zn, 10^{-3}	8,0	8,4	175	7,0	7,3	175	8,0	8,1	29
Cu, 10^{-3}	2,2	2,3	126	3,7	3,9	219	2,1	2,3	271
Pb, 10^{-3}	2,0	2,1	133	2,1	2,2	258	1,3	1,4	155
Ag, 10^{-6}	9,0	9,1	22	31,0	58,0	2316	14,0	14,8	208
Mo, 10^{-5}	8,0	9,0	428	7,0	7,8	428	5,5	5,6	43

* Значения природной логарифмической дисперсии умножены на 10^4 .

осадках оз. Вишневское были получены нами при помощи полуколичественного спектрального анализа и потому в расчет не принимались). Однако более глубокий сравнительный анализ этих данных позволяет выявить некоторый характер распределения содержаний элементов в осадках и в определенной мере основные формы их нахождения.

В первую очередь, легко заметить, что цирконий содержится в этой фракции в заметно меньших количествах, чем целиком во всем веществе осадков. В оз.Лопата его концентрация в тонкодисперсной части осадков составляет всего 25% от общего, валового содержания, а в оз.Утиное — около 30%. Так как соединения циркония труднорастворимы и он не является биогенным элементом, то можно уверенно сказать, что основной формой нахождения этого элемента в осадках озер являются более грубые взвеси и даже, вероятно, мельчайшие обломки его собственных минералов, о чем, по-видимому, может свидетельствовать большая величина его природной логарифмической дисперсии содержаний в этой фракции осадков в оз.Вишневокое. В целом можно сказать, что дефицитные содержания элементов в этой фракции, по сравнению с валовыми их концентрациями, указывают на то, что основная часть их атомов находится в других составных частях осадков. К таким элементам можно отнести медь, ванадий, кобальт (оз.Утиное), титан, кремний, бор и молибден (оз.Лопата).

Вместе с тем обращает на себя внимание контрастно выраженная концентрация в этой фракции таких элементов, как марганец, железо, хром, свинец и серебро. Концентрация этих элементов в этой фракции увеличивается по сравнению с валовым их содержанием в осадках от 10 до 600%. За исключением серебра, которое по-разному накапливается в этой фракции осадков в двух рассматриваемых озерах (в оз.Утиное его концентрация увеличивается в 1,23 раза, а в оз.Лопата — в 6,1 раза), все остальные указанные элементы увеличивают свои концентрации в этой фракции достаточно одинаково в обоих озерах: железо — в 1,32 и 1,49 раза, марганец — в 1,7 и 1,63 раза, хром — в 1,27 и 1,15 раза, свинец — в 1,24 и 1,10 раза. В оз.Утиное в тонкодисперсной фазе осадков возрастают концентрации 13 элементов, за исключением циркония, меди, ванадия и кобальта, а в оз.Лопата — только у девяти элементов. Ряд химических элементов, накапливаясь в этой фракции в оз.Утиное, наоборот, снижают свои концентрации по сравнению с валовыми в оз.Лопата: титан, кремний, бор, молибден. Особенно примечательным является то, что четыре элемента — марганец, железо, галлий и свинец, зафиксированные нами как явно избыточные элементы при анализе их валовых содержаний, в тонкодисперсной фракции осадков этих озер обладают явно повышенными концентрациями.

Таким образом, можно сказать, что целый ряд химических элементов, в том числе и явно избыточные, имеют в озерных осадках формы нахождения, тесно связанные с тонкодисперсными, коллоидными час-

тичками, т.е. в больших концентрациях создают с атомами других элементов системы равновесия как внутри коллоидов, так и на коллоидах, в поглощающем комплексе.

Необходимо особо остановиться на так называемой растворимой, или подвижной, форме нахождения химических элементов в озерных осадках. Эта форма определялась нами путем обработки образцов донных отложений озер водой и слабым раствором соляной кислоты. Вода при этом практически не разрушала твердые ингредиенты озерного осадка, а выщелачивала соединения химических элементов, находящихся в осадке в составе поровых и капиллярных растворов, газовой-жидких включений, а также в виде водорастворимых минералов. Слабокислотная вытяжка выщелачивала из озерных осадков кроме этого различные самородные элементы, сульфидные минералы и, как оказалось, затрагивала вещество осадка достаточно сильно, переводя в растворимые соединения почти до 100% от общего содержания элемента в осадке, т.е. практически не несла в себе никакой информации о форме нахождения элемента. Данные о содержании ряда химических элементов в водных вытяжках из озерных осадков приведены нами в табл. 14.

Т а б л и ц а 14

Содержание ряда химических элементов в водной вытяжке из осадков некоторых озер Карельского перешейка, вес. %

Элементы	оз. Утинное, п = 48	оз. Лопата, п = 73	оз. Вишневское, п = 50	оз. М. Кирилловское, п = 23
Олово, 10^{-4}	0,004	0,007	0,01	0,036
Кобальт, 10^{-3}	0,019	0,055	0,083	0,089
Ванадий, 10^{-3}	0,019	0,051	0,15	0,14
Цинк, 10^{-3}	0,027	0,098	0,12	0,30
Медь, 10^{-3}	0,074	0,16	0,14	0,38
Свинец, 10^{-3}	0,001	0,005	0,06	0,16
Серебро, 10^{-6}	0,05	1,4	5,3	16,3
Молибден, 10^{-3}	0,02	0,10	0,16	0,18

Сравнивая данные этой таблицы со среднеарифметическими оценками содержания этих элементов в осадках озер Утинное и Лопата, легко заметить, что концентрация элементов в этих формах нахождения

весьма незначительна. Отношение концентраций элементов в водорастворимой форме нахождения к их валовому содержанию в озерных осадках для этих двух озер оценивается следующими значениями:

Sn - 0,11 и 0,20%,	Co - 0,83 и 2,89%,
V - 0,30 и 1%,	Zn - 0,54 и 1,36%,
Cu - 2,21 и 3,23%,	Pb - 0,05 и 0,24%,
Ag - 0,63 и 14,7%,	Mo - 0,3 и 1,1%.

Следовательно, в среднем содержание элементов в водорастворимой, подвижной форме нахождения можно оценить величиной около 1,8%, т.е. исследованные в этой форме нахождения элементы содержатся в озерных осадках Карельского перешейка почти в 50 раз меньших количествах, чем их валовые концентрации. Причем в водах исследованных озер содержание ванадия, кобальта (кроме вод озер Лопата и Петровское), олова (кроме вод р. Вуокса и оз. М. Кирилловское) находилось ниже порога обнаружения использованного метода ($10^{-7}\%$), а остальные элементы содержались в водах в десятки (медь, серебро, молибден) и даже сотни раз (свинец) меньших концентрациях, чем в водорастворимых формах нахождения в озерных осадках.

Что же касается содержания элементов в слабокислотных вытяжках из осадков, то, как отмечалось выше, концентрация элементов сильно варьировала от образца к образцу, составляя от валовой концентрации и десятые доли процента (свинец, олово) наравне с десятками процентов, и единицы процентов вместе с десятками процентов (цинк, серебро, молибден, ванадий), и гораздо больше 50%, порог достигая 100% (свинец). Очевидно, без детального минералогического анализа вещества образцов и применения более тонких методов анализа их состава трудно было дать достаточно правдивую интерпретацию получаемых результатов.

Метод рационального фазового анализа вещества озерных осадков одновременно на большую группу химических элементов дал нам возможность представить, хотя бы пока в качественной форме, некоторые особенности распределения содержаний элементов в отдельных генетических составляющих этой сложной природной смеси продуктов. В качестве примера такого анализа осадков в табл. 15 приводятся данные по одному из исследованных озер (в КВК).

Анализ полученных результатов показывает, что в фазе * легко-растворимых солей, выделенной при помощи водно-спиртовой вытяжки, в озерах Утиное, Лопата и Вишневоe вообще не обнаружены концен-

трации молибдена и кобальта. Причем чувствительность метода определения концентраций этих элементов в данном случае не меньше, чем в методе соосаждения элементов с сульфидом кадмия, использованном при анализе обычных водных вытяжек (табл. 14). Очевидно, этот факт говорит о том, что в случае применения обычных водных вытяжек, без спирта, вода в определенной степени затрагивает и другие ингредиенты вещества осадков, по-видимому, поглощающий комплекс.

Практически во всей массе проанализированных образцов вещества осадков, за исключением единичных образцов в некоторых озерах, не найдены концентрации таких элементов, как галлий, серебро, олово, а также хром и цинк, концентрации которых обнаружены в легкорастворимой фазе только в низах колонок осадков (Утиное и Вишневское). Все остальные элементы обнаружены в этой фазе, за исключением титана в осадках оз. Вишневское. Причем, наиболее высокие концентрации в этой фазе у марганца и никеля, а для осадков оз. Утиное — еще и титана.

В фазе поглощающего комплекса, выделенного при помощи хлористого аммония, найдены концентрации практически всех исследованных элементов. Однако общей картины поведения некоторых элементов в этой фазе осадков не наблюдается. Так, например, титан, который содержится в этой фазе из осадков озер Утиное и Лопата в достаточно высоких концентрациях, в данной фазе осадков оз. Вишневское, наоборот, вообще не обнаружен. Следует заметить, что и в третьей фазе, так называемой смешанной, в которую из осадков извлекаются различные окислы элементов, а также химические соединения элементов, связанные с органической составляющей осадков, титан в осадках оз. Вишневское опять не обнаружен. Только в последней фазе — труднорастворимых силикатах, титан легко обнаруживается, так как содержится в относительно больших концентрациях. Иными словами, в осадках этого озера титан содержится только в минеральной форме своего нахождения: либо в виде собственных минералов, либо в виде изоморфной примеси в породообразующих минералах. Такое поведение титана в осадках оз. Вишневское вполне понятно, так как осадки этого озера практически целиком сложены сапропелями, в которых кластогенные обломки минералов почти отсутствуют.

Следовательно, различное поведение элементов в разных озерах перешейка обуславливается не только индивидуальными химическими свойствами элементов, но и общими ландшафтными условиями в системе водосбор—озеро и формами нахождения элементов на водосборе, точнее, формами их миграции на водосборе и в самом водоеме.

Содержание элементов (в КВК) в фазах*,
по различным интервалам толщи
и исследованных при помощи

Элементы	0-1,5 м, п=15				1,5-2,6 м, п=11				2,6-3,9 м, п=13			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Титан	-	-	-	1,11	-	-	-	0,91	-	-	-	0,59
Марганец	0,51	2,35	0,11	1,12	0,62	2,40	0,16	1,23	0,27	2,30	0,18	0,91
Цирконий	0,48	1,73	-	1,98	-	1,88	-	1,88	0,23	1,54	-	1,41
Галлий	-	Сл.	0,43	0,37	-	-	0,39	0,72	-	-	0,43	0,41
Олово	-	0,35	0,26	-	-	0,49	-	-	-	0,40	-	-
Никель	0,14	1,21	1,38	0,65	0,11	1,51	1,56	0,78	Сл.	1,43	1,85	0,37
Кобальт	-	0,17	0,18	0,35	-	0,30	0,20	0,57	-	0,37	0,30	Сл.
Хром	-	-	0,30	0,49	-	-	0,23	0,63	-	-	0,24	0,19
Цинк	Сл.	1,02	0,92	-	-	-	0,90	-	-	-	0,98	-
Свинец	Сл.	0,72	0,21	0,14	Сл.	0,93	-	0,24	-	0,36	-	0,12
Серебро	-	1,88	0,27	-	-	2,10	-	-	-	1,49	0,6	-
Молибден	-	0,15	0,52	Сл.	-	0,40	0,73	Сл.	-	Сл.	0,83	Сл.

* Фаза: 1 - легкорастворимых солей (химическая составляющая);
3 - смешанная (окислы элементов + органическая составляющая); 4 -
концентрация элемента ниже предела обнаружения данным методом; Сл. -

Так же как и в фазе легкорастворимых солей, в фазе поглощающего комплекса не найдены концентрации галлия (обнаружен только в самых низах колонки осадков оз.Утиное и оз.Лопата), хрома, отсутствующего в определяемых количествах в осадках озер Лопата и Вишневское, но обнаруженного в этой фазе из осадков оз.Утиное, олова, не найденного в осадках оз.Утиное в интервале глубин от 0 до 4,0 м мощности осадков, но обнаруженного в осадках озер Лопата и Вишневское. Но относительно самые высокие концентрации элементов в фазе поглощающего комплекса обнаружены у марганца, никеля, серебра, титана и циркония.

В третьей, смешанной фазе, выделенной из озерных осадков при помощи 2 н. уксусной кислоты, кроме титана в осадках оз.Вишневское, не обнаружены концентрации галлия и свинца в осадках оз.Утиное, серебро - в оз.Лопата, цирконий - в озерах Вишневское и Утиное. Остальные элементы обнаружены в самых различных концентрациях. Причем наи-

Т а б л и ц а 15

выделенных из объединенных образцов осадков
донных отложений оз.Вишневское
рационального (фазового) метода анализа

Элементы	3,9-4,6 м, п=7				4,6-6,0 м, п=14				6,0-6,8 м, п=8			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Титан	-	-	-	1,12	-	-	-	0,73	-	-	-	0,60
Марганец	0,18	2,0	0,27	1,31	0,10	1,5	2,1	0,94	0,71	2,2	0,83	1,14
Цирконий	-	1,29	-	1,90	Сл.	0,45	-	2,1	0,84	1,21	-	0,85
Галлий	-	-	0,55	0,87	-	-	0,61	1,22	-	Сл.	0,37	1,27
Олово	-	0,10	0,20	-	-	Сл.	0,20	-	Сл.	0,28	0,41	-
Никель	0,10	1,18	1,66	0,70	0,04	1,81	2,12	0,91	0,12	1,62	2,15	1,0
Кобальт	-	0,13	0,34	0,52	-	Сл.	0,60	1,22	-	0,09	0,84	1,31
Хром	-	-	0,4	0,63	-	-	0,60	1,20	-	-	0,47	1,33
Цинк	-	1,08	0,87	Сл.	-	0,49	0,60	Сл.	0,30	0,45	0,68	Сл.
Свинец	-	0,62	-	0,16	Сл.	0,43	0,60	0,48	0,07	0,61	0,17	0,35
Серебро	-	1,84	1,52	-	-	2,05	1,0	-	1,24	2,08	1,30	-
Молибден	-	0,22	0,78	Сл.	-	0,35	0,48	Сл.	-	0,48	0,47	Сл.

2 - поглощающего комплекса (физико-химическая составляющая);
труднорастворимых силикатов (механическая составляющая). "-" -
обнаружены следы элемента.

более стабильную картину своего нахождения в данной фазе показывает никель, кобальт, хром, молибден, цинк, чего уже нельзя сказать о марганце, так как он не обнаруживается в ней в верхних слоях толщи осадков оз.Утиное.

В последней, остаточной фазе осадков, так называемой фазе труднорастворимых силикатов, не обнаружены концентрации серебра, олова и практически цинка в осадках двух озер - Лопата и Вишневское. Концентрации остальных элементов найдены в осадках всех трех рассматриваемых озер в переменных количествах.

Несмотря на сугубо качественный характер изложения картины внутреннего распределения концентраций элементов в озерных осадках, все же складывается какое-то определенное впечатление о формах нахождения ряда химических элементов. Например, никель встречен во всех выделенных фазах, но в форме легкорас-

творимых соединений он содержится в значительно меньших концентрациях, чем в поглощающем комплексе, а также в виде таких форм нахождения, которые связаны с органическим веществом в осадках, окислами и минералами. То же самое можно сказать в определенной мере и о свинце, хотя в фазе окислов его содержание заметно меньше, чем в поглощающем комплексе и силикатной форме. Для циркония основными формами нахождения в озерных осадках можно считать минеральную форму и подвижные — в виде водорастворимых солей и в поглощающем комплексе. Марганец в минеральной форме своего нахождения содержится в меньших концентрациях, чем в подвижных формах нахождения в целом. Галлий практически не содержится во всех трех первых фазах и потому можно сказать, что он попадает в озерные осадки совместно с минералами, труднорастворимыми силикатами, т.е. его главной формой нахождения является минеральная. Основными формами нахождения хрома в озерных осадках являются его содержания в минеральной форме и в виде его окислов, а также, вероятно, в составе органического вещества осадков. Основной формой нахождения серебра является его вхождение в поглощающий комплекс коллоидных частиц осадков, в меньших количествах оно содержится в форме окислов и практически не обнаружено в минеральной форме своего нахождения и в виде легкорастворимых солей. Титан может присутствовать в самых разных формах своего нахождения и в зависимости от физико-географической обстановки, а олово и цинк практически не присутствуют в форме труднорастворимых минералов и легкорастворимой форме, но зато в поглощающем комплексе и в виде окислов они содержатся в весьма значительных концентрациях от общего их содержания в осадке. Молибден в большей степени находится в виде каких-то окислов и в органической составляющей осадков. Кобальт почти не обнаруживается в легкорастворимых формах нахождения, но зато во всех остальных формах присутствует в значительных и более или менее одинаковых концентрациях. Марганец присутствует во всех формах нахождения и в самых различных количествах, что подтверждает высказанные нами ранее соображения, основанные на анализе величин природных логарифмических дисперсий содержания элементов в осадках всех озер Карельского перешейка.

В связи с тем что значения КВК в первом приближении пропорциональны логарифмам содержания элементов, то можно в численных значениях ориентировочно оценить соотношение концентраций в трех первых фазах, выделенных из осадков, так как они концентрировались на одинаковую основу — угольный порошок, а все изученные элементы

определялись по одним и тем же своим аналитическим линиям. Поэтому в первом приближении соотношение между тремя первыми фазами можно определить из простого выражения: $C_1 : C_2 : C_3 = 10^{\Delta S_1} : 10^{\Delta S_2} : 10^{\Delta S_3}$, где $\Delta S_1, \Delta S_2, \Delta S_3$ - численные значения содержания элемента в единицах КВК соответственно в каждой фазе. Например, средние значения в КВК для марганца в этих фазах для всей толщи осадков оз. Лопата соответственно равны: 1,01, 1,39 и 0,98. Следовательно, отношение $C_1 : C_2 : C_3 = 10^{1,01} : 10^{1,39} : 10^{0,98} = 10,2 : 24,6 : 9,6 = 1 : 2,4 : 0,94$, т.е. больше всего марганец концентрируется во второй фазе, которая в 2,4 раза содержит его больше, чем первая фаза. Это в полной мере соответствует тому, что утверждалось нами выше в описательной форме. Поэтому в случае необходимости, используя описанный прием, можно приближенно оценить соотношение концентраций элемента в трех первых фазах: легкорастворимых солей (химическая составляющая), поглощающего комплекса (физико-химическая составляющая) и смешанная фаза (окислы металлов + органическая составляющая). Однако в связи с тем, что в целом ряде случаев в различных фазах осадков разных озер не обнаружены концентрации многих элементов, ниже приведем такие отношения только для фаз осадков оз. Лопата еще по пяти элементам:

Ti	-	1	:	0,99	:	0,25
Ni	-	1	:	3,3	:	8,6
Pb	-	1	:	1,5	:	1,1
Zr	-	1	:	2,2	:	0,6
Zn	-	1	:	3,6	:	3,4

Таким образом, можно сказать, что рациональный (фазовый) метод анализа позволяет получать весьма важную геохимическую информацию, в определенной мере раскрывающую внутреннее распределение концентраций элемента по некоторым генетическим составляющим озерного осадка.

Кроме выявления форм нахождения элементов нами была предпринята попытка определить некоторые закономерности совместного поведения элементов в озерных осадках, т.е. выделить определенные группы элементов, связанных между собой схожестью поведения в процессах образования осадков. Такие элементы в геохимии обычно принято называть геохимической ассоциацией элементов. Причем для выявления геохимических ассоциаций в качестве меры одинаковости поведения элементов, т.е. согласованности распределения содержаний двух или более элементов в изучаемой толще осадков, нами был ис-

пользован коэффициент парной корреляции, который обычно используется в математической статистике с аналогичными целями. Этот коэффициент используется в геохимии и других разделах науки о Земле очень широко. Однако он дает возможность оценить в количественной форме только зависимость между двумя какими-то исследуемыми признаками. В случае же большого числа одновременно изучаемых характеристик какого-то явления или процесса приходится прибегать к дополнительным приемам, помогающим выявить внутренние взаимоотношения между всеми рассматриваемыми признаками. В этих целях применяют самые разнообразные методы и приемы математической статистики, например, кластерный анализ, факторный анализ, метод главных компонент, корреляционных профилей и т.д. (Миллер, Кан, 1965; Крамбейн и др., 1973). В настоящих исследованиях нами использован собственный метод анализа, названный "методом ранжированных корреляционных профилей", который в наглядной, графической форме раскрывает общую картину взаимосвязей между различными элементами в рассматриваемой их группе (Тарновский, Лабзин, 1969).

Рассмотрим на конкретном примере этот простой метод. Представим, что перед нами стоит задача выяснить взаимосвязи между элементами, которые содержатся в водорастворимых формах своего нахождения в осадках оз.Утиное. На основе данных о содержании этих элементов в водной вытяжке из осадков этого озера вычисляем по известной формуле коэффициенты корреляции для всех возможных сочетаний пар элементов в данной их группе (табл.16). Затем для каждого элемента все значения его парных коэффициентов корреляции с другими элементами располагаем в виде возрастающего ряда численных значений. Такую упорядоченную последовательность значений коэффициентов корреляции условимся называть в дальнейшем рядом ранжированных величин сил связи между элементами или просто ранжированными корреляционными профилями. В табл.17 нами приводятся такие данные по результатам анализов водной вытяжки из осадков оз.Утиное.

Рассматривая данные этой таблицы, легко заметить, что только некоторая группа элементов имеет между собой существенно значимые корреляционные связи. Однако структура связей между элементами пока остается скрытой. Для ее раскрытия перенесем каждый ряд ранжированных величин сил связи на координатную плоскость, в которой для каждого элемента построим свой ранжированный корреляционный профиль, показывающий на ней совместно с другими ранжированными корреляционными профилями общую картину взаимосвязей каждого элемента со всеми остальными. Такой график, отображающий на плоскости струк-

Т а б л и ц а 16

Матрица общих (парных) коэффициентов корреляции (r),
оценивающих силу связи между элементами в водной вытяжке
из донных отложений оз.Утиное^{*)}

Элемент	Ni	Co	V	Zn	Cu	Mn	Pb	Sn	Mo	Ag
Серебро	-0,09	-0,09	-0,05	-0,1	-0,01	0,13	0,05	-0,21	-0,04	
Молибден	0,02	0,06	0,08	-0,05	0,19	-0,14	0,05	0,25		
Олово	0,12	0,10	0,14	0,08	0,09	0,21	0,13			
Свинец	0,23	0,24	0,13	0,17	0,61	0,06				
Марганец	0,53	0,48	0,38	0,47	0,11					
Медь	0,44	0,48	0,52	0,39						
Цинк	0,70	0,66	0,76							
Ванадий	0,70	0,68								
Кобальт	0,97									
Никель										

^{*)} Скв.15, $h=4,8$ м, $n=48$; 99%-ная зона значимости при $|r| \geq 0,37$.

Т а б л и ц а 17

Ранжированные величины сил связи
между элементами в водной вытяжке из донных отложений оз.Утиное^{*)}

Элемент	Ранг								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Серебро	-0,21	-0,10	-0,09	-0,09	-0,05	-0,04	-0,01	0,05	0,13
Молибден	-0,14	-0,05	-0,04	0,02	0,05	0,06	0,08	0,19	0,25
Олово	-0,21	0,08	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,21	0,25
Свинец	0,05	0,05	0,06	0,13	0,13	0,17	0,23	0,24	0,61
Марганец	-0,14	0,06	0,11	0,13	0,21	0,38	0,47	0,48	0,53
Медь	-0,01	0,09	0,11	0,19	0,39	0,44	0,48	0,52	0,61
Цинк	-0,10	-0,05	0,08	0,17	0,39	0,47	0,66	0,70	0,76
Ванадий	-0,05	0,08	0,13	0,14	0,38	0,52	0,68	0,70	0,76
Кобальт	-0,09	0,06	0,10	0,24	0,48	0,48	0,66	0,68	0,97
Никель	-0,09	0,02	0,12	0,23	0,44	0,53	0,70	0,70	0,97

^{*)} Скв.15, $h=4,8$ м, $n=48$; 99%-ная зона значимости для $|r| \geq 0,37$.

туру взаимоотношений между элементами в водной вытяжке из илов оз. Утиное приводится нами на рис. 13. Чем ближе друг к другу ранжированные корреляционные профили и подобнее их расположение на этой плоскости, тем согласованнее распределение концентраций элементов

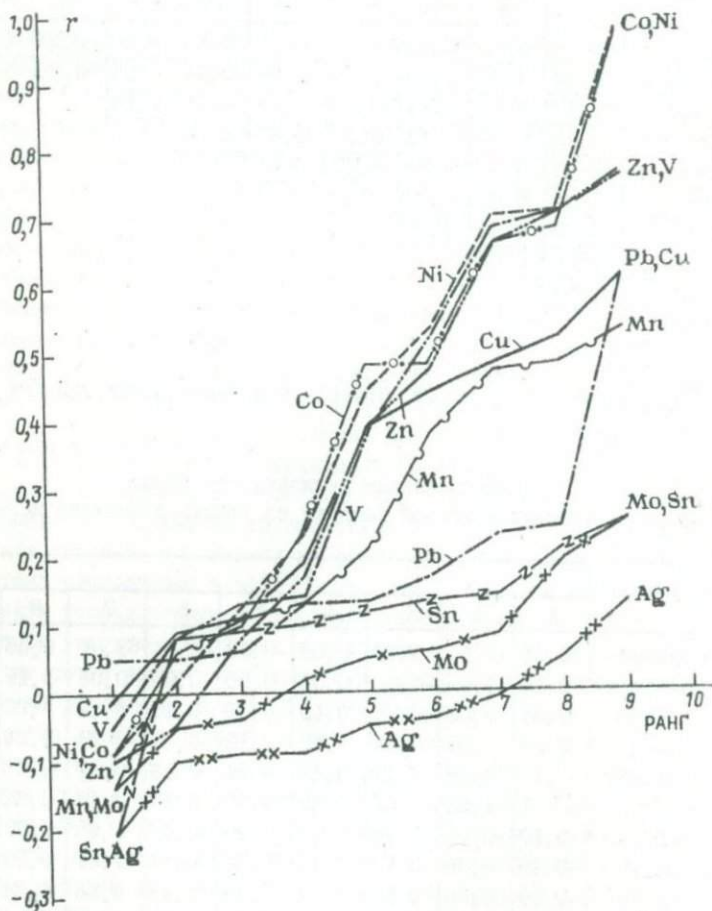


Рис. 13. График ранжированных величин сил связи между элементами водной вытяжки из озерных осадков оз. Утиное.

в исследуемом объекте и тем более схож характер поведения двух рассматриваемых элементов, т.е. больше есть оснований отнести их к одной геохимической ассоциации. Кроме того, в таких графиках заложена информация о миграционной способности химических элементов в момент образования вещества осадков, что более подробно нами будет рассмотрено в следующей главе работы.

При анализе графика ранжированных величин сил связи между элементами в водной вытяжке из осадков оз. Утиное легко заметить, что такие элементы, как серебро, молибден и олово практически не только не зависят друг от друга, но и никак не связаны с остальными элементами, т.е. каждый из них как бы образует свою геохимическую ассоциацию, члены которой здесь не представлены. Четко ассоциирующими элементами являются никель, кобальт, ванадий и цинк, которые можно объединить в одну геохимическую ассоциацию, подразделяющуюся внутренне на две пары более связанных между собой элементов: никель - кобальт и цинк - ванадий. В то же время, несмотря на то, что марганец имеет значащие корреляционные связи с этой геохимической ассоциацией элементов, распределение концентраций этого элемента в водной вытяжке имеет какой-то свой, особый характер, в определенной мере отличающий его от нее, т.е. марганец следует выделить в самостоятельную группу, в некотором роде похожую на вышеуказанную. Более же связана с ассоциацией кобальта медь. Однако значимые корреляционные связи меди со свинцом, который не имеет таковых с группой кобальта, в определенной степени отдаляют медь от этой ассоциации и позволяют считать характер распределения ее концентраций в водной вытяжке в большей мере независимым от ассоциации кобальта, т.е. считать медь самостоятельной группой, так же как и свинец.

Следовательно, график ранжированных корреляционных профилей позволяет, на основе статистической зависимости между характерами распределения концентраций 10 обнаруженных в водной вытяжке из осадков оз. Утиное элементов, подразделить всю совокупность элементов следующим образом: [(никель, кобальт - цинк, ванадий) - медь - марганец] - свинец - олово - молибден - серебро, т.е. выявить одну более или менее тесную геохимическую ассоциацию из шести элементов и четыре некоррелированных с ней самостоятельных элементов.

Аналогичным способом нами построены графики ранжированных сил связи между элементами в водных вытяжках из осадков озер Вишнево-ское и Лопата, которые приводятся на рис. 14 и 15. На графике для оз. Вишнево-ское довольно четко различаются три группы элементов: цинк, имеющий резко независимый характер распределения концентраций в вод-

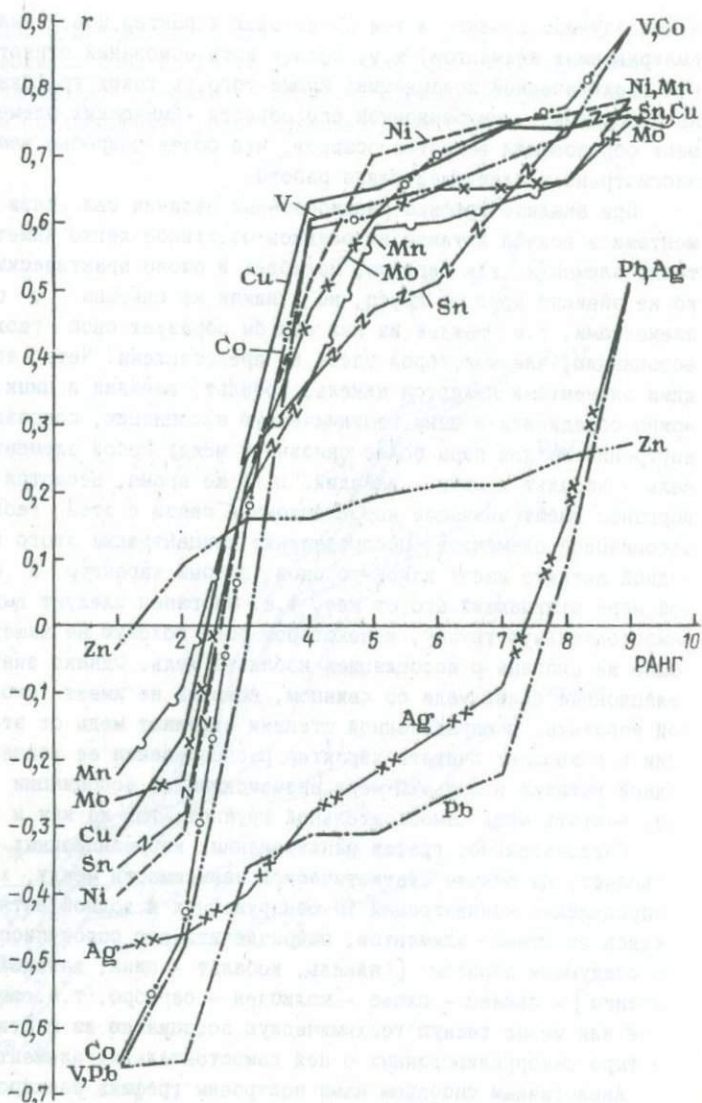


Рис. 14. График ранжированных величин сил связи между элементами водной вытяжки из озерных осадков оз. Вишневское.

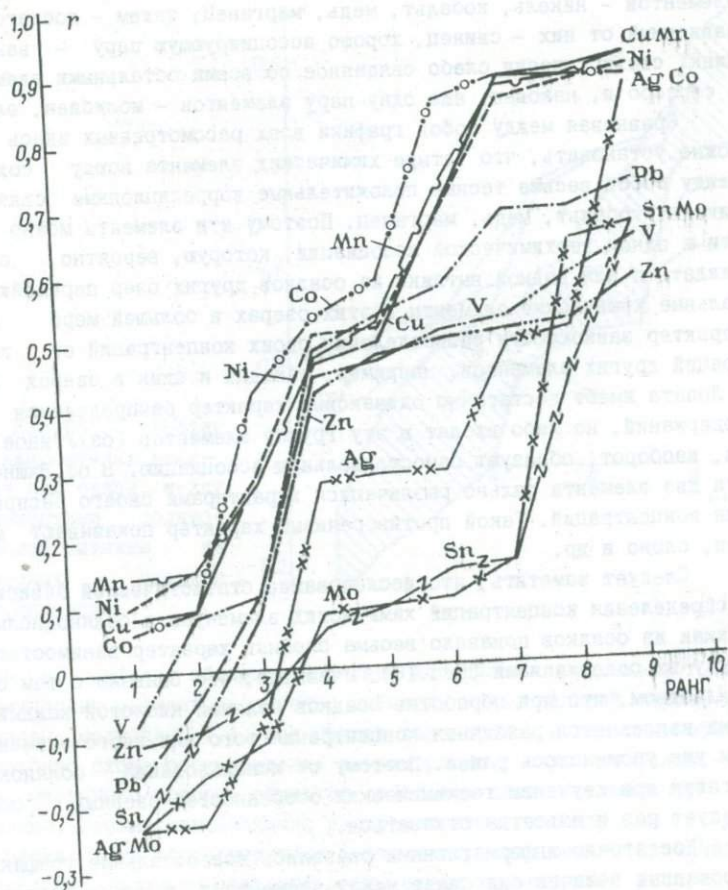


Рис.15. График ранжированных величин сил связи между элементами водной вытяжки из озерных осадков оз. Лопата.

ной вытяжке, серебро и свинец, значения статистических связей которых с остальными элементами в основном лежат в поле отрицательных корреляционных зависимостей, а также достаточно тесно связанные между собой - никель, кобальт, ванадий, медь, марганец, молибден, олово. Для оз. Лопата можно легко выделить ассоциацию четырех

элементов – никель, кобальт, медь, марганец, затем – достаточно независимый от них – свинец, хорошо ассоциирующую пару – ванадий, цинк, статистически слабо связанное со всеми остальными элементами – серебро и, наконец, еще одну пару элементов – молибден, олово.

Сравнивая между собой графики всех рассмотренных здесь озер, можно установить, что четыре химических элемента всюду сохраняют между собой весьма тесные положительные корреляционные связи – никель, кобальт, медь, марганец. Поэтому эти элементы можно отнести к одной геохимической ассоциации, которую, вероятно, следует ожидать и для водной вытяжки из осадков других озер перешейка. Остальные химические элементы в этих озерах в большей мере меняют характер зависимости распределения своих концентраций от концентраций других элементов. Например, ванадий и цинк в озерах Утиное и Лопата имеют достаточно одинаковый характер распределения своих содержаний, но либо входят в эту группу элементов (оз. Утиное), либо, наоборот, образуют самостоятельную ассоциацию. В оз. Вишневское эти два элемента сильно различаются характерами своего распределения концентраций. Такой противоречивый характер показывают молибден, олово и др.

Следует заметить, что исследование статистической зависимости распределения концентраций химических элементов в солянокислых вытяжках из осадков показало весьма сложный характер взаимоотношений между их содержаниями (рис. 16). Очевидно, это связано с тем обстоятельством, что при обработке осадков соляной кислотой каждый раз нами извлекается различная концентрация того или иного элемента, о чем уже упоминалось ранее. Поэтому от использования солянокислых вытяжек при изучении геохимических особенностей озерных осадков следует раз и навсегда отказаться.

Достаточно информативными оказались все остальные графики ранжированных величин сил связи между элементами, которые были построены нами по всем изученным озерам как по валовым концентрациям элементов, так и по их содержаниям во фракции $< 0,001$ мм. На рис. 17 показаны ранжированные корреляционные профили для химических элементов во фракции $< 0,001$ мм из осадков оз. Вишневское, которые рассмотрим в качестве примера возможных взаимосвязей между элементами в такой фракции.

Как показывает график, все 17 химических элементов, проанализированных в этой фракции, достаточно четко распадаются как на отдельные элементы, имеющие свой, особый характер распределения концентраций в этой фракции, так и на вполне определенные группы эле-

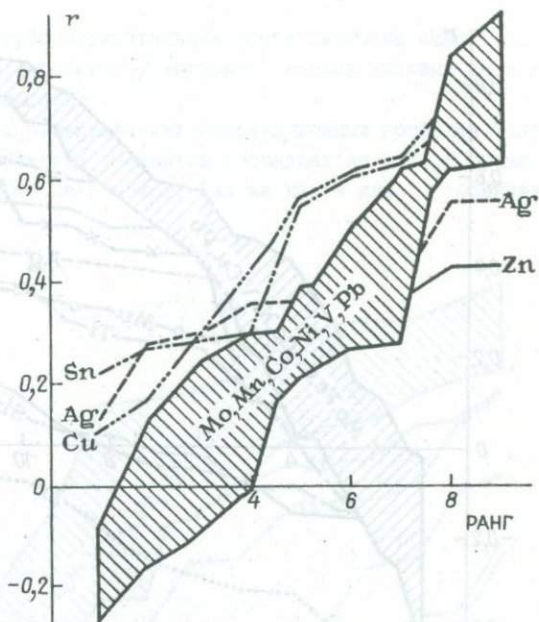


Рис.16. График ранжированных величин сил связи между элементами солянокислой вытяжки из озерных осадков оз. Дымовское.

ментов. Наиболее обширную и тесную ассоциацию представляют восемь химических элементов: никель, кобальт, медь, ванадий, хром, железо, свинец, молибден, т.е. вся группа сидерофилов и три халькофила. Достаточно схоже распределение концентрации у двух литофилов — титана, марганца, которые образуют собой еще одну геохимическую ассоциацию. Весьма согласованно распределяются концентрации у кремния и цинка, хотя корреляционные связи между ними весьма незначительны. Остальные элементы обладают собственным характером распределения концентраций в данной фракции, в особенности цирконий, у которого с 12 элементами наблюдаются, пусть незначительные, но отрицательные корреляционные связи.

Анализ аналогичного графика для оз. Лопата показал, что очень тесную ассоциацию образуют также в основном сидерофилы — никель, кобальт, хром, железо, два халькофила — медь, свинец и один литофил — галлий. Статистические связи внутри этой геохимической ассоциации весьма высокие — в среднем коэффициент корреляции для этой группы можно оценить величиной больше 0,8. Противоположной для этих

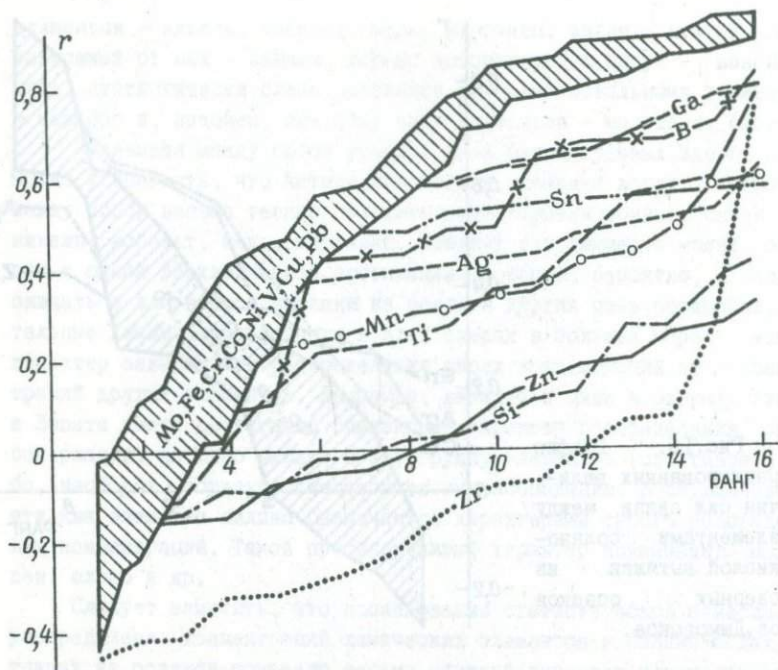


Рис.17. График ранжированных величин сил связи между элементами тонкодисперсной части озерных осадков оз. Вишневское.

элементов ассоциацией следует считать группу из трех элементов - цирконий, кремний, серебро, которые с ними в основном имеют отрицательные связи. Остальные элементы имеют отличный характер распределения своих концентраций, в особенности от группы из трех элементов. Однако такие элементы как ванадий, марганец, олово все же очень сильно тяготеют к первой, большой группе элементов.

Для оз. Утиное также можно выделить большую по численности элементов геохимическую ассоциацию: никель, кобальт, ванадий, хром, железо, марганец, олово и, вероятно, медь. В этой группе опять присутствуют все сидерофилы, два литофила и один халькофил. Остальные элементы либо вовсе не связаны с этой ассоциацией, либо имеют с ней более слабые, в целом несущественные корреляционные связи, например свинец, цинк. Такие же элементы как серебро и цирконий имеют

со всеми элементами сугубо отрицательные статистические связи, хотя их характер выражен, особенно у циркония, весьма низкими значениями коэффициента корреляции.

В качестве примера ранжированных корреляционных профилей для валовых содержаний химических элементов в осадках на рис.18 приводится такой график для оз.Петровское. Так же как и для фракции

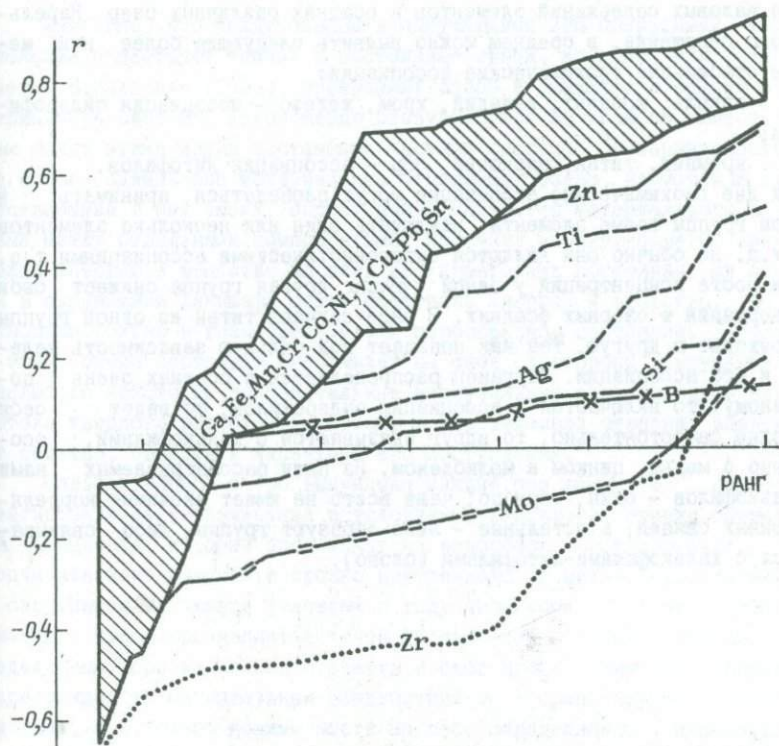


Рис.18. График ранжированных величин сил связи между элементами донных отложений оз.Петровское (на основе валовых концентраций).

< 0,001 мм здесь можно выделить, во-первых, одну большую ассоциацию химических элементов — никель, кобальт, медь, ванадий, хром, железо. К этой группе близко примыкает ассоциация из четырех эле-

ментов: галлий, марганец, свинец, олово. Такие элементы, как титан, серебро, кремний, бор, молибден и цирконий имеют с отмеченными ассоциациями незначимые корреляционные связи. Причем, молибден и цирконий в основном обладают с ними сугубо отрицательными связями, которые указывают на противоположный характер распределения концентраций. Из всех этих некоррелированных с первыми 10 элементами особенно отличительным характером обладает бор.

Анализируя все графики ранжированных корреляционных профилей для валовых содержаний элементов в осадках различных озер Карельского перешейка, в среднем можно выявить следующие более или менее стабильные геохимические ассоциации:

никель, кобальт, ванадий, хром, железо - ассоциация сидерофилов;

кремний, титан, цирконий, бор - ассоциация литофилов.

Эти две геохимические ассоциации могут распадаться, принимать в свои группы новые элементы, исключать один или несколько элементов и т.д. Но обычно они являются антогонистическими ассоциациями, т.е. при росте концентраций у одной группы другая группа снижает свои содержания в озерных осадках. В ряде случаев титан из одной группы переходит в другую, так как попадает под сильную зависимость железа и его ассоциации. Марганец распределяется в осадках очень поразному: то включается в ассоциацию сидерофилов, то ведет себя вполне самостоятельно, то вдруг связывается с халькофилами, особенно с медью, цинком и молибденом. Из пяти рассматриваемых нами халькофилов - один, серебро, чаще всего не имеет значимых корреляционных связей, а остальные - либо образуют группы, либо связываются с халькофилами-литофилами (олово).

Г л а в а У I

НЕКОТОРЫЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЕОХИМИИ ОЗЕРНЫХ ОСАДКОВ

Известно, что между озером и окружающими его природными комплексами существуют тесные и постоянные связи, которые, как отмечает С.В.Калесник (1968), превращают озеро и ландшафт в единую материальную систему, закономерно развивающуюся во времени. Вместе с тем между этими двумя составными частями системы устанавливаются не совсем одинаковые материальные отношения. Озеро, несмотря на существование в нем своих, особых закономерностей материального обмена между отдельными компонентами, получает из окружающего ландшафта энергию и вещество во всех его агрегатных состояниях. Из озера в окружающий ландшафт может поступать энергия и вещество, но в основном только в газообразном или паробразном состоянии. В связи с этим, озеро постоянно испытывает на себе со стороны окружающего ландшафта некоторые дополнительные материальные воздействия в виде потока твердого вещества, а потому в определенной степени зависит от состава, свойств и характера его поступления.

Следовательно, озеро вынуждено каждый раз каким-то образом реагировать на те изменения в условиях и характере течения природных процессов, которые происходят на водосборе, согласовывать и подчинять закономерности своего внутреннего развития существующим в окружающем ландшафте условиям и ходу процессов. Поэтому можно сказать, что озеро является такой частью этой системы, которая определенным образом должна отражать в себе происходящую во времени нерегулярность материальных воздействий со стороны другой части системы, т.е. озеро должно нести на себе определенные отпечатки, "следы" тех изменений, которые происходят в окружающем ландшафте, в физико-географической обстановке на водосборе.

Однако не все компоненты озера могут в равной мере, во-первых, отражать в себе, в своем строении, составе и свойствах эти происходящие в окружающем ландшафте изменения, а во-вторых, сохранить относительно длительное время наложенные на них отпечатки, так как

отражение в них последующих воздействий и событий способно затушевать или вовсе стереть их. Наиболее информативным и благоприятным в этом отношении компонентом являются донные отложения озер, которые не только достаточно контрастно отражают многие происходящие в окружающем ландшафте изменения, но и способны долгое время сохранять в себе наложенные отпечатки. Поэтому донные отложения озер можно назвать компонентом-индикатором былых условий и процессов на водосборе и в озере, в котором при помощи определенных методов можно выявить их отпечатки и по ним в той или иной степени детальноности воссоздать физико-географические условия, существовавшие в то время. Одним из методов, который способен выявить глубокие и тонкие различия в вещественном составе донных отложений озер, обнаружить в них такие "следы", является геохимический метод исследования.

Рассматривая в этом аспекте вещество озерных осадков с ландшафтно-геохимических позиций, можно предположить, что в нем содержится определенным образом скрытая от нас природой качественная и количественная информация о тех геохимических процессах, которые протекали на территории окружающего ландшафта и в самом озере в прошлом и привели в то время к его образованию. Носителями такой полезной информации являются различные химические элементы, которые слагают вещество осадков в определенных концентрациях, разных формах своего нахождения, сочетаниях друг с другом и т.д. Естественно, каждый из них может по-разному отражать те или иные стороны геохимических процессов, в неодинаковой степени реагировать на какие-то изменения в их течении. Поэтому среди них стремятся отыскать наиболее информативные элементы, так называемые элементы-индикаторы, которые в большей мере, чем остальные, могут отразить своим поведением и распределением в веществе осадков своих концентраций определенные стороны этих процессов или условий.

Однако при изучении вопросов стратиграфии и палеогеографии четвертичного периода до сих пор геохимические методы исследований используются весьма редко. Вместе с тем, эти методы широко и разнообразно применяются при изучении истории более древних осадочных образований - осадочных горных пород, для которых разработан ряд геохимических приемов и методов, помогающих полнее раскрыть многие особенности процессов осадконакопления в прошлом. Большой опыт, накопленный здесь геохимией, позволяет считать, что применение геохимических методов исследования в области стратиграфии и палеогеографии четвертичного периода, в частности голоцена, может быть весьма перспективным. Особенно плодотворным может быть их использо-

вание в этих целях при изучении толщ осадков современных озер, формирование которых продолжается и в настоящее время.

В связи с этим, нам представляется необходимым хотя бы кратко рассмотреть некоторые приемы и способы геохимических исследований, применяемые обычно при изучении истории древних осадочных пород, попытаться осмыслить их с позиций геохимии ландшафта и на конкретных примерах, основанных на материале настоящих исследований, показать ряд возможностей геохимии ландшафта, которыми она обладает для решения указанных задач.

1. Известно, что существуют мощные "немые" толщи осадочных пород, в которых очень сложно, а иногда и почти невозможно выделить дробные горизонты - ярусы, подъярусы, зоны, слои и т.д., так как в них не сохранились руководящие ископаемые. В связи с этим, уже многие годы в дополнение к биостратиграфическому методу используют для корреляции геологических разрезов другие методы, например, минералогические, геофизические, электрокаротаж, гамма-каротаж и геохимические методы. Очевидно, макрооднородные по литологическому составу толщи озерных осадков можно также отнести к такому типу фаунистически слабо охарактеризованных осадочных образований.

Подразделение таких литологических однородных осадочных пород обычно основывается на исследовании изменений концентрации одновременно большой группы химических элементов по геологическому разрезу толщи, т.е. изучения характера изменений содержаний элементов во времени. С этой целью могут быть использованы различные химико-аналитические методы определения валовых содержаний химических элементов по геологическому разрезу скважин. Однако большинство из них, ввиду их сложности и трудоемкости, не получили должного применения на практике. Наибольшее распространение в таких исследованиях получил эмиссионный спектральный анализ, который позволяет с относительно малыми затратами сил и средств произвести в короткие сроки массовые определения одновременно большой группы химических элементов в изучаемой толще. Причем геохимическая корреляция геологических разрезов по данным спектрального анализа может производиться как на основе качественного распределения химических элементов по разрезу, так и по результатам количественного определения их содержания.

При использовании качественного приема для геохимической корреляции пород используют порог чувствительности спектрального определения тех или иных химических элементов, который является естественным и вполне надежным "фильтром" для выявления малых концен-

траций. Очевидно, если определяемый элемент будет иметь в изучаемом слое, горизонте и т.д. содержание меньше предела его обнаружения по данной методике, то будет всегда фиксироваться его отсутствие. В других горизонтах или слоях его концентрация может резко увеличиваться, становиться выше, чем порог чувствительности анализа, т.е. в этом случае будет фиксироваться его присутствие. Если нанести результаты такого анализа рядом с литологическим разрезом, то можно выделить определенные слои, горизонты, пачки и т.д. по наличию (+) или отсутствию (-) в них тех или иных химических элементов. Иными словами, порог чувствительности спектрального анализа как бы автоматически подразделяет литологически однородную толщу на отдельные горизонты, в которых "есть" или "нет" данный элемент.

Как считает С.М.Катченков (1964), в качестве элементов, которые успешно могут быть использованы для геохимической корреляции разрезов таким методом, следует рекомендовать: стронций, барий, бериллий, титан, цирконий, хром, ванадий, никель, кобальт, медь, литий, галлий и др. Причем при использовании такой качественной информации можно усиливать действие таких альтернативных ответов путем применения статистических расчетов. Например, можно выделять горизонты, в которых встречаемость определенного элемента равна 75% и более, от других горизонтов, для которых она меньше 25%. Само же сопоставление, корреляция ряда геологических разрезов для данного региона при таком качественном геохимическом приеме приводится по тем химическим элементам, которые надежно выделяют тот или иной горизонт.

В случаях, когда осадочную толщу не удается расчленить таким простым приемом, так как она имеет повышенные уровни количественного содержания многих химических элементов, то тогда подразделение ее на отдельные горизонты приходится вести на основе количественных данных о распределении элементов по разрезу. При этом если рядом с литологической колонкой нанести результаты количественного определения элементов, то в зависимости от их повышенных или пониженных концентраций на тех или иных участках колонки можно выделить определенные горизонты, слои и т.д. Применение при этом спектрального метода анализа может заметно облегчать работу, так как вместо непосредственных данных о количественных содержаниях элементов по разрезу можно использовать данные о плотностях почернения спектральных линий (КВК). Такие распределения КВК по геологическому разрезу называют спектрокаротажными кривыми (Кудымов, 1960; Катченков, 1964) и в настоящее время часто используют для расчле-

нения осадочных пород на отдельные горизонты, а также при геохимической корреляции ряда разрезов.

При использовании количественного геохимического приема для расчленения и корреляции геологических разрезов определяют не только малые химические элементы, но и главные: кальций, магний, натрий, калий и др. Обычно анализируют большую группу элементов, так как это позволяет выявить среди них элементы-индикаторы. Но лучшие результаты получаются тогда, когда используют не абсолютные данные о концентрациях элементов по разрезу или просто КВК, а величины отношения различных пар элементов. Например, часто используют отношения таких элементов: стронций/барий, бор/галлий, кальций/магний, кальций/натрий, калий/рубидий, калий/литий, никель/кобальт, железо/марганец, титан/цирконий, ванадий/хром и др. При использовании КВК в таком случае можно пользоваться их разностями.

Однако надежной геохимической корреляции геологических разрезов можно достичь только в том случае, когда описанные выше качественный и количественный методы геохимического исследования осадочных образований вначале предварительно апробируются на каком-либо стандартном их разрезе, который наиболее полно и хорошо исследован другими методами. Благодаря таким предварительным работам удается выделять достаточно надежные маркирующие горизонты, которые четко отбиваются по какому-либо одному химическому элементу или же по целой их группе или отношениям элементов. Именно таким образом С.М. Катченковым (1964) для ряда площадей куйбышевского За-волжья по содержанию стронция выделены "целестиновые" горизонты, имеющие региональное значение.

Информация о валовых содержаниях химических элементов используется также и в палеогеографических целях. При этом чаще всего в качестве элементов-индикаторов применяют следующие химические элементы или отношения пар элементов: бор, натрий, барий, калий/натрий, бор/галлий, стронций/барий - в качестве индикаторов солености-пресноводности условий в бассейне седиментации; железо/марганец - как индикатор скорости осадконакопления; алюминий/натрий - в качестве показателя химического выветривания на площади водосбора; молибден/органическое вещество - как показатель сероводородного заражения придонного слоя воды, и т.д. Однако необходимо заметить, что многие из применяемых на практике геохимических индикаторов не имеют достаточно строгих теоретических обоснований, плохо апробированы и потому не могут считаться однозначными индикаторами тех обстановок осадконакопления, для определения которых они обычно предназначались.

Резюмируя изложенное, можно сказать, что все эти приемы качественного и количественного решения вопросов стратиграфии и палеогеографии на основе валовых содержаний химических элементов в осадочных породах могут быть без всяких изменений перенесены в область изучения более молодых осадочных образований, в частности толщ донных отложений современных озер.

2. К другой группе геохимических приемов изучения исторических вопросов можно отнести исследования концентраций многих химических элементов в предварительно выделенных из осадочных пород фракций различного диаметра, минералов, различных вытяжек - водных, солевых, слабокислотных, щелочных и т.п. В таких геохимических приемах предполагается, что валовые содержания химических элементов несут на себе меньше информации, чем концентрация элементов в различных формах их нахождения в осадочных породах. Исследуя распределение концентраций химических элементов путем этих приемов, так же как и в предыдущей группе приемов проводят расчленение геологических разрезов на горизонты, слои и т.д., а вместе с этим решают и некоторые палеогеографические задачи. Причем в таких геохимических построениях обычно используют как качественную, так и количественную аналитическую информацию.

Именно к такой группе геохимических методов исследования следует отнести приемы, использованные В.А.Завьяловым (1966) при изучении доманиковых осадочных отложений (верхний девон) южного Прикамья. В этой работе был использован целый комплекс различных приемов извлечения разных фракций и вытяжек: фракция битуминозных компонентов, водной вытяжки, 10%-ной солянокислой вытяжки, кремнево-минеральной фракции, фракции гумусоподобных веществ, конечного минерального остатка и др. В этих выделенных фракциях исследовались концентрации различных химических элементов: железо, алюминий, титан, галлий, таллий, молибден, цинк, свинец, медь. Кроме того, использовались самые разнообразные отношения концентраций каждого из изученных элементов в различных фракциях, а также отношения содержаний между различными элементами в каждой из выделенных фракций. В результате использования такого комплекса геохимических данных автору удалось сделать целый ряд весьма важных и интересных палеогеографических выводов.

Очевидно, такие приемы геохимических исследований можно использовать и при изучении более молодых четвертичных осадочных образований, ибо опыт применения различного рода вытяжек, исследований фракций и т.п. способов геохимического исследования рыхлых об-

разований в геохимии ландшафта уже имеется (Глазовская, 1964). Можно лишь добавить, что в ряде случаев следует комбинировать геохимическое изучение валовых содержаний элементов в толщах озерных осадков с исследованием распределений концентраций этих элементов в одной или нескольких фракциях, различных вытяжках и др. Кроме того, можно рекомендовать применение в таких целях рационального (фазового) анализа озерных осадков, методика которого используется нами в настоящей работе (Тарновский, Сочилина, 1969).

Основываясь на изложенном, рассмотрим ниже несколько примеров использования таких приемов при геохимическом изучении толщ осадков современных озер Карельского перешейка.

Как известно, на многие процессы, протекающие в ландшафтах, большое влияние оказывает климат. В гумидной зоне значительное количество выпадающих осадков при невысоких температурах воздуха создает большое переувлажнение местности и, следовательно, сильно влияет на водный режим рек, озер и грунтовых и поверхностных вод. Как правильно отмечает О.А.Алекин (1966), усиленный водный сток способствует малой минерализации воды в результате не только непрерывного разбавления, но и меньшего содержания химических элементов в почвах и грунтах, которое вызвано лучшей промываемостью в предшествующий период. В то же время, по данным спорово-пыльцевого анализа было установлено, что во время атлантического периода, продолжавшегося около 2,5 тыс. лет, территория Карельского перешейка испытывала значительное переувлажнение. Промывной водный режим, естественно, не мог не сказаться на процессах осадконакопления в озерах, в частности на количественном содержании химических элементов в озерных осадках. С ландшафтно-геохимической точки зрения в озерных осадках атлантического времени по сравнению с осадками других периодов голоцена следует ожидать уменьшение концентраций химических элементов в водорастворимых формах их нахождения.

В целях выяснения правильности такого предположения нами были проанализированы водные вытяжки из осадков оз. Вишневоое на целый ряд химических элементов по методике А.Д.Миллера и П.А.Степанова (1959). Результаты анализа (в КВК) приводятся в табл.18, где одновременно проведено подразделение всей толщи осадков на периоды в соответствии с данными, полученными на основе спорово-пыльцевого метода анализа. Кроме того, в таблице приводятся значения средних арифметических оценок суммарного содержания всех 10 проанализированных элементов по каждому из выделенных периодов голоцена.

Среднее содержание химических элементов (в КВК)

Период	Число образцов	Mn	V	Ni	Co
Субатлантический	9	0,68	0,09	0,69	0,05
Суббореальный	11	0,18	0,11	0,47	0,08
Атлантический	7	0,46	-	0,35	0,03
Бореальный	7	1,64	0,48	1,55	0,37
Верхний приас	11	1,04	1,09	1,35	0,56
Аллерёд	5	0,52	0,13	0,98	0,12

Данные таблицы показывают, что восемь из десяти элементов имеют минимальные содержания именно в осадках атлантического периода. Причем три элемента - ванадий, олово и молибден, вообще не обнаружены в водорастворимых формах своего нахождения в этот период. Только два элемента - цинк и свинец, не показали такой общей тенденции элементов уменьшать свои содержания в легкорастворимых формах нахождения в осадках этого времени. Такое их поведение может быть связано как с влиянием аналитических флуктуаций, так и с их индивидуальными физико-химическими свойствами, проявляющимися по-разному в зависимости от особенностей ландшафтных условий. В целом же полученные результаты являются столь очевидными, что еще раз как-то комментировать их нет никакой необходимости.

Следовательно, геохимические данные еще раз подтверждают ранее полученные сведения о том, что в атлантическое время на Карельском перешейке существовали такие физико-географические условия, которые способствовали весьма заметному переувлажнению почво-грунтов и связанному с этим уменьшению содержаний химических элементов в водорастворимых формах нахождения.

В то же время данные рационального фазового анализа толщи донных отложений оз. Вишневоое (табл. 15) такой четкой картины по двум легкоизвлекаемым формам нахождения элементов (фаза I и 2) не показывают. Однако, если представить, что при промывном водном режиме должно происходить большее выщелачивание взвесей, поступающих в озеро, уменьшение в них концентраций многих химических элементов, то при рассмотрении четвертой фазы осадков, конечного минерального остатка после извлечения всех вытяжек, видно заметное уменьшение в

Таблица 18

в водных вытяжках из илов оз. Вишневоое

Cu	Pb	Zn	Sn	Mo	Ag	$\frac{1}{10} \Sigma$ КВК
0,50	1,15	0,10	0,03	0,01	1,46	0,48
0,19	1,01	0,17	0,08	0,03	1,13	0,38
0,08	1,14	0,20	-	-	0,53	0,28
0,77	1,06	0,43	0,05	0,30	1,15	0,78
0,93	0,93	0,16	0,11	0,22	0,58	0,70
0,62	1,17	0,28	0,06	0,28	1,05	0,52

нем концентраций практически всех элементов на глубине 2,6-3,9 м, что соответствует накоплению осадков в атлантический период.

В качестве еще одного примера геохимического исследования толщ озерных осадков на рис. 19 нами приводятся спектрокаротажные кривые (по данным КВК) распределения валовых содержаний элементов, а также их концентраций в водной вытяжке и во фракции < 0,001 мм из образцов донных отложений оз. Утиное. Хорошо видно, что содержание многих химических элементов показывает резкое изменение по разрезу скважины. Содержание CO_2 заметно снижается в озерных осадках послеледниковья, что, во-первых, может говорить о существовании в послеледниковье весьма благоприятных условий для течения химических реакций в окружающем озеро ландшафте, для активного растворения многих минералов горных пород (полевой шпат, кварц и др.), а во-вторых, указывать на более холодный климат в это время, растворение $CaCO_3$ и увеличение в связи с этим CO_2 . Валовые содержания практически всех химических элементов, хотя и испытывают заметные флуктуации, однако достаточно контрастной картины различий в характере накопления элементов в послеледниковье и послеледниковье для этого озера не дают. Можно заметить только некоторую тенденцию к увеличению содержаний в послеледниковье время таких химических элементов, как цирконий, титан и в определенной степени кремний, который значительно повышает свое содержание в осадках, начиная с бореального периода. В послеледниковье происходит некоторое уменьшение валовых концентраций у ванадия.

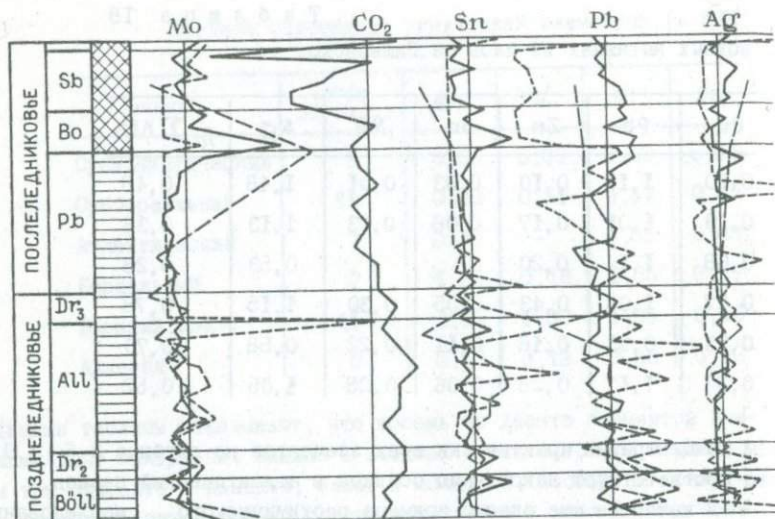
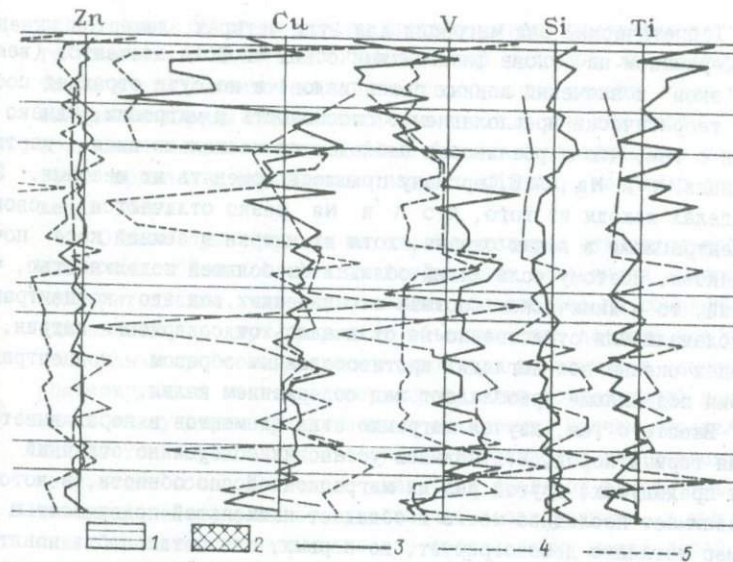


Рис.19. Спектрокаротажные кривые для
1 - органо-минеральные илы; 2 - алевроитово-глинистые илы,
ная вытяжка.

Вместе с тем, данные о распределении содержаний химических элементов в водной вытяжке и во фракции $< 0,001$ мм, выделенных из осадков этого озера, несут на себе заметно больше полезной геохимической информации. Например, в среднем дриасе в водной вытяжке из осадков резко возрастают содержания ванадия и меди, что позволяет выделить образцы осадков этого периода из всей их массы. В верхнем дриасе концентрация этих элементов остается на весьма низком количественном их уровне, но зато их концентрации, а также содержания свинца резко увеличиваются во фракции $< 0,001$ мм. Причем в предшествующий период времени, в конце аллереда, концентрации всех перечисленных элементов в этой фракции сильно падают. Это позволяет внутри всей толщи осадков достаточно надежно выделить слои осадков, соответствующие этим периодам времени.

Кроме рассмотренных выше приемов получения полезной геохимической информации для целей стратиграфии и палеографии четвертичного периода следует показать еще один способ, основанный на применении статистических методов при обработке результатов анализов.



донных отложений оз. Утиное.

3 - валовое содержание; 4 - фракция $< 0,001$ мм; 5 - вод-

Этот способ разработан в последнее десятилетие и известен в двух вариантах. Один из них (метод многократной корреляции) разработан Ю.К.Бурковым (1968), а второй - метод ранжированных корреляционных профилей, предложен нами. В связи с тем что разработанный способ, впервые доложенный в марте 1968 г. на Полыновских чтениях в Москве, опубликован в весьма кратком, схематичном виде (Тарановский, 1969в), ниже рассмотрим более подробно его особенности.

С этой целью позаимствуем у Б.Б.Полынова (1948) из его работы следующие данные, переписав их в более удобной для нас форме.

Теоретический ряд
миграции элементов $K > Na > Ca > Mg$

Ряд миграции с по-
правкой А.Е.Ферсмана $Na > K > Ca > Mg$

Ряд фактической мигра-
ции по Б.Б.Полынову $Ca > Na > Mg > K$

Теоретический ряд миграции для этих четырех элементов выведен А.Е.Ферсманом на основе физико-химических свойств элементов (величин "эков" и значений ионных потенциалов) и по сути отражает собой лишь теоретически предполагаемую способность к миграции. Однако в связи с тем, что в реальности наблюдается несколько иная картина миграции К и Na, А.Е.Ферсману пришлось поменять их местами. Это он сделал исходя из того, что К и Na резко отличаются своими концентрациями в водах океана, хотя их кларки в земной коре почти одинаковы. Поэтому если калий обладал бы большей подвижностью, чем натрий, то в химическом составе океанических вод его концентрации преобладали или существенно не отличались от содержания натрия. Но в водах океана все выглядит противоположным образом — концентрации натрия подавляюще преобладают над содержанием калия.

Вместе с тем, изучая миграцию этих элементов в корах выветривания горных пород, Б.Б.Полынов установил, совершенно отличный от двух предыдущих, другой ряд их миграционной способности, в котором К занимает последнее место и обладает наименьшей подвижностью. Этот пример наглядно демонстрирует, во-первых, относительность понятия "миграционной способности" элементов, т.е. относительно какого объекта рассматривается их подвижность, и, во-вторых, необходимость учета ландшафтных условий, в которых происходит миграция элементов. Иными словами, если исследовать миграционную способность этих элементов относительно другой природной системы и в иных физико-географических условиях, то подвижность их может сильно отличаться от приведенной и, естественно, может измениться и сам ряд их подвижности. Как правильно отмечает Н.П.Ремезов (1958), общих рядов подвижности не может быть найдено, ибо подвижность элемента зависит от характера растительных формаций, обуславливающих малый биологический круговорот в ландшафте, свойств почв, включая почвообразующие и подстилающие горные породы, рельефа местности и климатических условий, влияющих на проявление процесса выветривания.

Следовательно, в конкретных физико-географических условиях должен иметь место вполне определенный ряд миграционной способности элементов и, наоборот, конкретный миграционный ряд элементов должен соответствовать определенным физико-географическим и термодинамическим условиям природной среды.

Таким образом, если уметь достаточно надежно и воспроизводимо определять эмпирические ряды подвижности химических элементов в природных объектах и для каждой характерной обстановки ландшафтной оболочки Земли построить такие ряды, то на основе таких "эталонных"

рядов можно будет не только прогнозировать поведение того или иного элемента в идентичных "эталонному" условиях ландшафта, но и, хотя бы в приближенном виде, решать обратные задачи - для найденного эмпирически ряда подвижности элементов в том или ином природном образовании воссоздавать былые физико-географические условия, которые привели к образованию данного объекта, например донных отложений озер.

Однако существующие методы определения относительной миграционной способности элементов для решения этих задач являются неудовлетворительными, так как основаны обязательно на сравнении поведения элемента в двух природных объектах, что достигается путем относительно простого расчета показателя подвижности элемента, характеризующего степень перераспределения концентраций данного элемента между двумя сравниваемыми объектами. Причем определение величины таких условных показателей подвижности для каждого элемента производится на основе его единичных анализов в этих объектах, являющихся, как известно, существенно неоднородными, и при этом влияние "третьих" объектов на два сравниваемых между собой не учитывается.

Вместе с тем ряд подвижности элементов в общем обладает рядом примечательных особенностей, которые позволяют использовать для его объективного построения методы математической статистики. Во-первых, каждый ряд подвижности элементов представляет собой упорядоченную в возрастающем (убывающем) порядке, ранжированную совокупность элементов, отражающих абсолютную или относительную миграционную способность этих элементов в данных физико-географических условиях. Во-вторых, каждый предыдущий химический элемент ряда обладает в этих условиях среды большей или меньшей, в зависимости от того, убывающий или возрастающий ряд, миграционной способностью, чем каждый последующий элемент. В-третьих, два рядом стоящих в ряду элемента имеют более схожую или близкую миграционную способность в данных условиях, чем два элемента, расположенные в ряду через один элемент и тем более, через два и т.д.

Следовательно, среди всех элементов миграционного ряда два рядом стоящих элемента будут обладать наиболее схожими в данных условиях течения процессов формами миграции их атомов, а стоящие на противоположных концах ряда - наиболее отличными формами миграции. Поэтому для построения ряда подвижности элементов следует использовать какие-то объективные показатели миграционной способности, учитывающие пространственно-временную изменчивость изучаемого геохими-

ческого пространства и основанные на этих особенностях ряда. Нам представляется, что в этих целях можно использовать величину стохастической зависимости между распределением концентраций элементов в изучаемом объекте и, в частности, значение коэффициента парной корреляции между двумя элементами.

Ранее нами было показано, что вещество озерных осадков представляет собой сложную смесь четырех основных типов конечных продуктов, которая непрерывно формируется на дне водоема в результате движения. Поэтому каждый слой вещества озерных осадков можно представить как определенный результат сложного движения, миграции, перераспределения атомов химических элементов, зафиксированный в момент исследования осадков. В предшествующий этому момент времени миграция химических элементов могла осуществляться в различных формах — истинных растворов, в виде коллоидов, более грубых взвесей и даже крупных обломков минералов, органических остатков. Чем больше количество атомов в подвижных формах миграции (истинные растворы, коллоиды) у какого-то элемента, тем он подвижнее, более энергично мигрирует, чем элемент, основная доля атомов которого сосредоточена в инертных формах миграции (грубые взвеси и крупные частицы). Схожие по миграционной способности элементы должны обладать идентичными распределениями концентраций своих атомов в различных формах миграции.

Следовательно, если в качестве объективной меры согласованности поведения двух элементов в процессе миграции или в фиксированном его результате на данный момент времени — определенном слое вещества осадков, принять коэффициент корреляции, то чем выше, сильнее положительная связь между элементами, тем более они похожи распределениями своих атомов по отдельным формам миграции, тем согласованней распределение концентраций их атомов в подвижных и инертных формах миграции. Если же между парой элементов существует сильная отрицательная связь, то, наоборот, распределение концентраций атомов в инертных и подвижных формах миграции у этих элементов прямо противоположно, т.е. у одного элемента большее количество атомов сосредоточено в инертных формах, а у другого значительная их часть находится в более подвижных формах миграции. А так как при определении коэффициента корреляции необходимо иметь массовую информацию о распределении концентраций двух элементов в целой сети точек изучаемого объекта, то, очевидно, такая мера, такой показатель миграционной способности элементов в большей степени отвечает стохастическому характеру многих геохимических процессов. Не менее

важным является и то, что при этом исчезает необходимость использования второго природного объекта, который применялся в прежних способах определения коэффициента миграции для сравнения.

Следовательно, если для группы элементов, проанализированных в целой сети точек исследуемого объекта, найти парные коэффициенты корреляции между распределениями их концентраций в объекте и выявить внутренние взаимоотношения между всеми парами элементов, то можно построить ряд миграционной способности для этих элементов в данном объекте. В нашем способе построения ряда подвижности элементов в этих целях используется метод ранжированных корреляционных профилей.

Рассмотрим этот геохимический способ на конкретном примере. В качестве объекта, понимаемого как зафиксированный на данный момент времени результат процесса миграции химических элементов, возьмем дециметровый слой донных отложений оз.Суури. В целой сети точек этого слоя нами отобраны образцы осадков ($n = 25$), в каждом из которых определены концентрации 17 химических элементов (в КВК). На основе формулы коэффициента корреляции вычислены все возможные сочетания парных коэффициентов корреляции, значения которых приводятся нами в табл.19. На основе этой таблицы построен график ранжированных величин сил связи между всеми исследованными элементами (рис.20).

Очевидно, чем согласованнее распределение концентраций для двух элементов в этой толще осадков, тем одинаковей их поведение в конечном результате их миграции, тем более они похожи распределением содержаний своих атомов в различных формах миграции, тем меньше различия в их ранжированных корреляционных профилях. Например, это можно видеть в таблице и на графике для таких элементов, как пара хром - галлий. Поэтому перенесение на плоскость ранжированных корреляционных профилей позволяет как бы автоматически фиксировать одновременно все существующие между данными элементами взаимоотношения между распределениями их валовых концентраций в изучаемом объекте. Можно сказать, что при этом как бы производится моментальная фотографическая съемка "застывших" в своем движении атомов химических элементов, находящихся в тех или иных формах миграции, а на снимке как бы проявляются схожие и отличные по своей подвижности в момент образования данного вещества химические элементы.

При рассмотрении этой "фотографии" легко заметить, что по отношению к оси рангов, разделяющей поле корреляционных связей на две равные по величине, но противоположные по значению половин - по-

Ранжированные величины сил
в дециметровом поверхностном слое

Элемент	Ранг						
	1	2	3	4	5	6	7
Марганец	-0,20	-0,19	-0,16	-0,12	-0,09	0,11	0,13
Серебро	-0,32	-0,27	-0,04	-0,02	0,09	0,17	0,19
Цирконий	-0,76	-0,72	-0,71	-0,70	-0,68	-0,66	-0,62
Титан	-0,66	-0,58	-0,55	-0,48	-0,39	-0,37	-0,35
Кремний	-0,53	-0,48	0,17	0,23	0,25	0,32	0,33
Бор	-0,58	-0,47	-0,16	0,06	0,20	0,31	0,31
Цинк	-0,58	-0,27	0,17	0,31	0,36	0,36	0,42
Ванадий	-0,44	-0,12	0,09	0,13	0,36	0,40	0,40
Кобальт	-0,49	-0,19	0,06	0,19	0,36	0,41	0,44
Молибден	-0,62	-0,35	0,35	0,40	0,41	0,43	0,44
Галлий	-0,70	-0,21	-0,12	-0,04	0,23	0,42	0,44
Хром	-0,72	-0,20	-0,09	-0,02	0,17	0,43	0,46
Свинец	-0,66	-0,55	0,24	0,33	0,33	0,43	0,44
Никель	-0,61	-0,37	0,16	0,34	0,42	0,46	0,52
Железо	-0,76	-0,17	0,17	0,28	0,31	0,32	0,35
Олово	-0,71	-0,39	0,11	0,21	0,25	0,54	0,57
Медь	-0,68	-0,66	0,22	0,41	0,56	0,59	0,59

* Валовое содержание, $n = 25$; 99%-ная зона значимости $|r| \geq$

положительное и отрицательное поля, все химические элементы определенным образом обособляются на различные по поведению группы. В первую очередь, необходимо выделить два элемента - цирконий и титан, имеющие со всеми остальными элементами отрицательные корреляционные связи. Миграция атомов этих элементов и их вхождение в осадок происходит в виде инертных форм миграции, т.е. в связанном с другими элементами минеральном виде, во взвесах, и они не могут проявить при этом свои индивидуальные физико-химические свойства.

Все остальные элементы располагаются в положительной части корреляционного поля и имеют, очевидно, более повышенные концентрации своих атомов в подвижных формах. Однако элементы этой большой группы не имеют одинаковые ранжированные корреляционные про-

152

Т а б л и ц а 19

связи между элементами
донных осадков оз.Суури*

8	9	10	11	12	13	14	15	16
0,16	0,17	0,22	0,24	0,28	0,31	0,35	0,41	0,43
0,20	0,21	0,31	0,33	0,34	0,40	0,41	0,42	0,52
-0,61	-0,58	-0,53	-0,49	-0,47	-0,44	-0,32	-0,19	0,53
-0,27	-0,27	-0,21	-0,20	-0,20	-0,19	-0,17	-0,12	0,53
0,36	0,36	0,40	0,43	0,46	0,51	0,52	0,59	0,63
0,40	0,41	0,42	0,46	0,51	0,57	0,60	0,64	0,77
0,42	0,47	0,62	0,65	0,70	0,71	0,71	0,71	0,76
0,43	0,49	0,59	0,59	0,59	0,63	0,72	0,73	0,76
0,46	0,52	0,54	0,56	0,63	0,68	0,76	0,76	0,79
0,49	0,51	0,57	0,59	0,68	0,71	0,71	0,76	0,77
0,46	0,52	0,55	0,57	0,60	0,73	0,74	0,78	0,93
0,47	0,52	0,56	0,59	0,62	0,76	0,81	0,83	0,93
0,51	0,55	0,61	0,62	0,64	0,65	0,67	0,80	0,91
0,56	0,59	0,61	0,66	0,68	0,71	0,76	0,79	0,81
0,67	0,68	0,71	0,71	0,72	0,76	0,78	0,80	0,83
0,59	0,60	0,66	0,70	0,74	0,75	0,80	0,81	0,91
0,60	0,62	0,63	0,65	0,75	0,77	0,77	0,80	0,81

0,51.

фили, так как среди них обособляются марганец, серебро, кремний и бор. Остальная группа элементов более схожа между собой, но и ее можно разбить на более одинаковые по миграционной способности подгруппы элементов, используя в качестве меры подобия между элементами площадь под ранжированными корреляционными площадями.

На основе рассмотренного графика (см.рис.20) для дециметрового слоя донных отложений оз.Суури, расположенного в северо-восточной части Карельского перешейка (учебная база ЛГУ, около г.Приозерска) в области развития архейского комплекса кристаллических пород, можно построить следующий ряд подвижности химических элементов: (цирконий, титан) → (марганец, серебро) → (кремний, бор) → (галлий, хром, ванадий, кобальт) → (цинк, свинец, молибден)

153

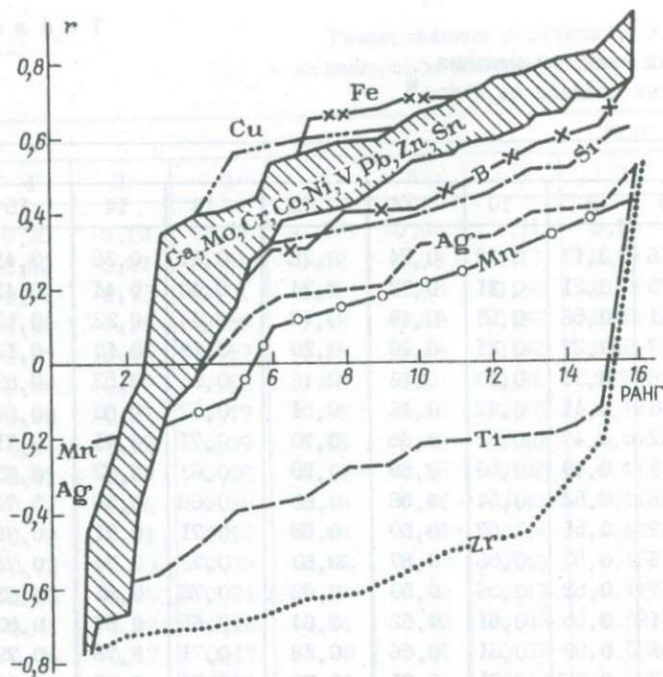


Рис.20. График ранжированных корреляционных профилей для десятиметрового поверхностного слоя осадков оз.Су-ури.

→ (никель, олово, медь, железо), в котором слева направо постепенно увеличивается миграционная способность этих элементов.

Если сравнить этот ряд с рядом Буркова (1968), построенного им на основе усреднения большого числа аналогичных рядов, отображающих в целом условия гумидного климата и пенеппенизированного рельефа (без указания на какие-либо конкретные физико-географические условия), то между этими рядами можно заметить большое сходство: (титан, цирконий) → (хром, ванадий) → (никель, кобальт) → свинец → медь → марганец.

В этих сравниваемых рядах наблюдается различие в местоположении только двух из данной группы элементов - никеля и марганца. В

нашем ряду, по сравнению с рядом Буркова, марганец переместился влево, т.е. стал почти неподвижным элементом. Это в действительности и имеет место, так как в поверхностном слое осадков оз. Суури наблюдается наибольший уровень концентрации марганца (около 0,3%), близкий к эмбрионально-рудному его содержанию. Зарождающийся в верхнем слое осадков процесс первоначального рудонакопления марганца связан, по-видимому, с наличием в озере специфических условий, какого-то геохимического барьера, с которым встречается марганец при переходе из воды в осадок, что и приводит к резкому изменению его подвижности, к его накоплению. Что же касается увеличения миграционной способности никеля, то это, вероятно, связано с большей растворимостью тех минералов, которые слагают здесь породы водосбора, высвобождением из них никеля и переходом его в раствор с миграцией в ионной форме, в частности никельсодержащих сульфидов ряда - железо-пирит и никель-пирит. Об этом говорят данные рационального фазового анализа осадков близлежащего к этому озеру водоема - оз. Утиное, водосбор которого сложен теми же горными породами. Никель в осадках этого озера в больших концентрациях находится во всех подвижных формах его нахождения - водно-спиртовой вытяжке, поглощающем комплексе и фазе окислов плюс органическое вещество, что и указывает на его большую подвижность (Тарновский, Сочилина, 1969).

Объяснение отмеченных различий можно найти в работе Н.М.Страхова (1968), который отмечает следующее: "Для правильного применения этих рядов необходимо иметь в виду одно существенное обстоятельство: место каждого элемента в миграционном ряду не остается строго постоянным, а в различных условиях может несколько меняться... Ряды подвижности, неоднократно вычислявшиеся для толщ разного возраста и в различных регионах, никогда в точности не совпадали один с другим; одни элементы оказывались смещенными к началу ряда, другие - к концу... Причина таких перегруппировок заключается в том, что в породах водосборов каждый элемент находится обычно в составе минеральных видов, то более, то менее растворимых. Когда породы эти более богаты растворимыми минералами, данный элемент приобретает большую подвижность, перемещаясь в ряду вправо; когда материнские породы содержат слабо растворимые минералы, элемент теряет подвижность и смещается в ряду влево" (Страхов, 1968, с.115).

Следовательно, найденный нами при помощи метода ранжированных корреляционных профилей ряд миграционной способности химических элементов отображает собой вполне конкретные физико-географические условия осадкообразования, существующие в ландшафте северо-восточной

части Карельского перешейка в современный период. Полученный нами ряд может быть использован в качестве "эталонного" ряда как для современных ландшафтно-геохимических исследований, так и для палеогеографических целей. Древние осадки или осадочные породы, для которых будет найден аналогичный ряд, следует считать образованными в условиях гумидного умеренного климата при значительном преобладании химического выветривания над механическим и, вероятно, можно именовать "мелкоалевритовой пресноводно-озерной фацией с эмбрионально-рудной концентрацией марганца". Очевидно, для более древних осадочных образований в конечные геохимические построения необходимо вносить определенные коррективы, учитывающие влияние постседиментационных процессов.

Описанный нами метод может быть использован в палеогеографических построениях для определения типа выветривания, господствующего на водосборе. В качестве примера такого применения метода рассмотрим приведенные на рис. 21 и 22 графики ранжированных корреляционных профилей для двух относительно больших периодов осадконакопления в оз. Суури - послеледниковье (мощность слоя осадков 2,7 м) и позднеледниковье (мощность осадков 1,7 м), подсеченных скв. 5. При этом основное внимание обратим на внешний облик общей картины графиков.

График ранжированных корреляционных профилей для химических элементов осадков позднеледникового времени сильно сжат по вертикали, а сами корреляционные профили для отдельных элементов сильно переплелись между собой и трудно различаются друг от друга. В какой-то мере можно при желании разделить все элементы на две более или менее отличные по своему поведению группы.

Однако такое разделение будет весьма условным. Важным же является для нас то, что такое сложное переплетение корреляционных профилей указывает на большое подобие миграционной способности для всех 18 элементов. Это возможно только в том случае, когда элементы мигрируют в основном в минеральной форме, в виде грубых взвесей, внутри них, и поэтому не могут проявлять своих индивидуальных физико-химических свойств, в связи с чем и корреляционные профили их почти не различимы.

В случае же графика для послеледникового времени такой картины уже не наблюдается. На графике легко заметить, что миграционная способность химических элементов резко различается: ряд элементов продолжают мигрировать в больших количествах своих атомов в виде грубых взвесей, т.е. внутри минералов и их обломков, не раскрывая

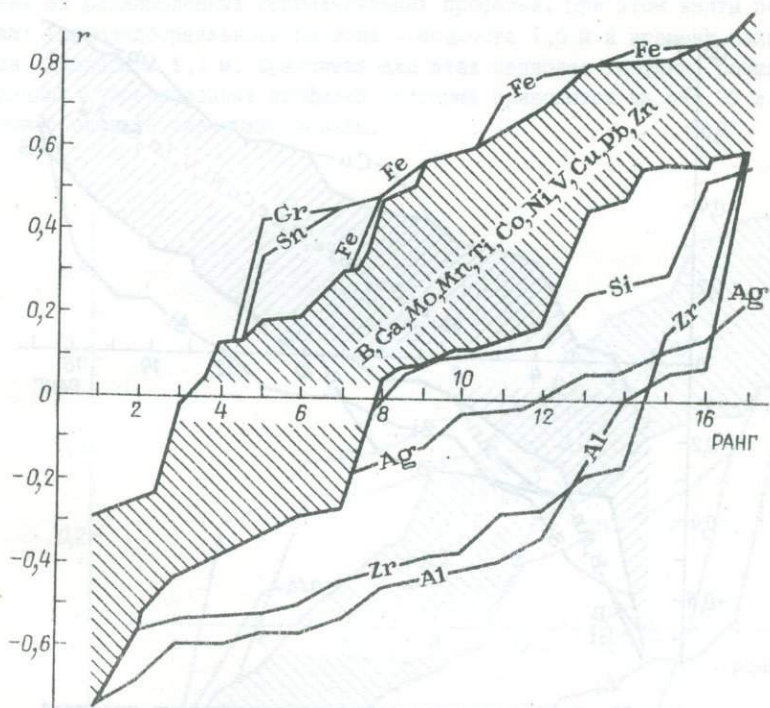


Рис.21. График ранжированных корреляционных профилей для толщи озерных осадков послеледникового времени (оз.Суури, глубина отбора 0 - 2,7 м).

в данных условиях свои химические свойства, например, галлий, бор, свинец, другие же отличаются от этой группы своей подвижностью, но, вероятно, все же принадлежат к одной большой геохимической ассоциации.

Следовательно, сравнение этих графиков позволяет нам сделать вывод о том, что условия осадконакопления в этих двух рассматриваемых отрезках времени были весьма различными. В позднеледниковое время на территории водосбора оз.Суури преобладающую роль играли процессы физического выветривания и механического сноса осадочного материала в водоем, что лишь в незначительной степени повлияло на

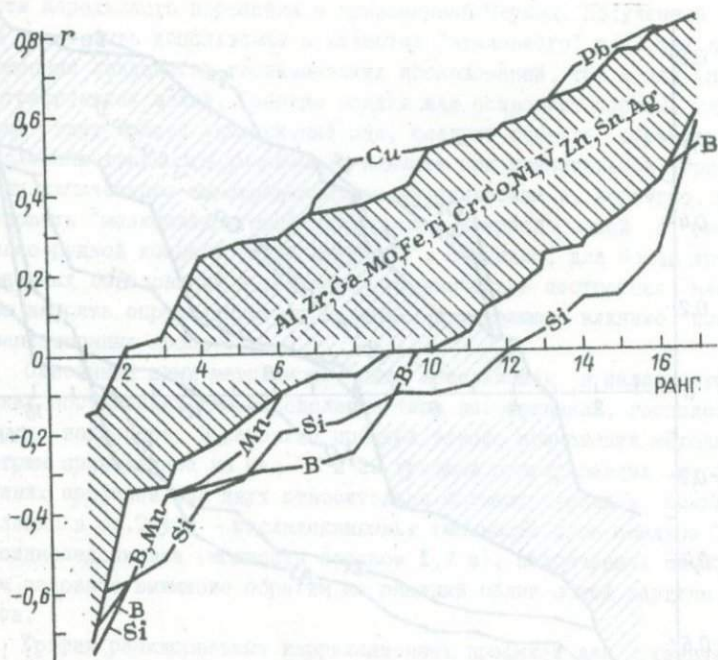


Рис.22. График ранжированных корреляционных профилей для толщи осадков позднеледникового времени (оз.Суури, глубина отбора 2,8-4,4 м).

первоначальные ассоциации химических элементов, которые обычно присущи кристаллическим породам данного района. В послеледниковое время в процессах выветривания горных пород на водосборе и миграции элементов все большую роль начинают играть химические и биологические, точнее биогеохимические процессы, которые, как это видно на графике, положительно воздействуют на освобождение из минералов многих химических элементов, сообщая им тем самым относительно большую подвижность и новые возможности для вхождения в совершенно новый цикл круговорота атомов в ландшафте.

Аналогичные исследования проведены нами и по осадкам оз.Утинное (скв.15), для которых по тем же 18 элементам проведено сравне-

ние их ранжированных корреляционных профилей. При этом взяты осадки: для предбореального периода - мощность 1,5 м и времени аллерёда - мощность 1,4 м. Сравнивая для этих периодов графики ранжированных корреляционных профилей, которые приводятся на рис.23 и 24, можно сделать следующие выводы.

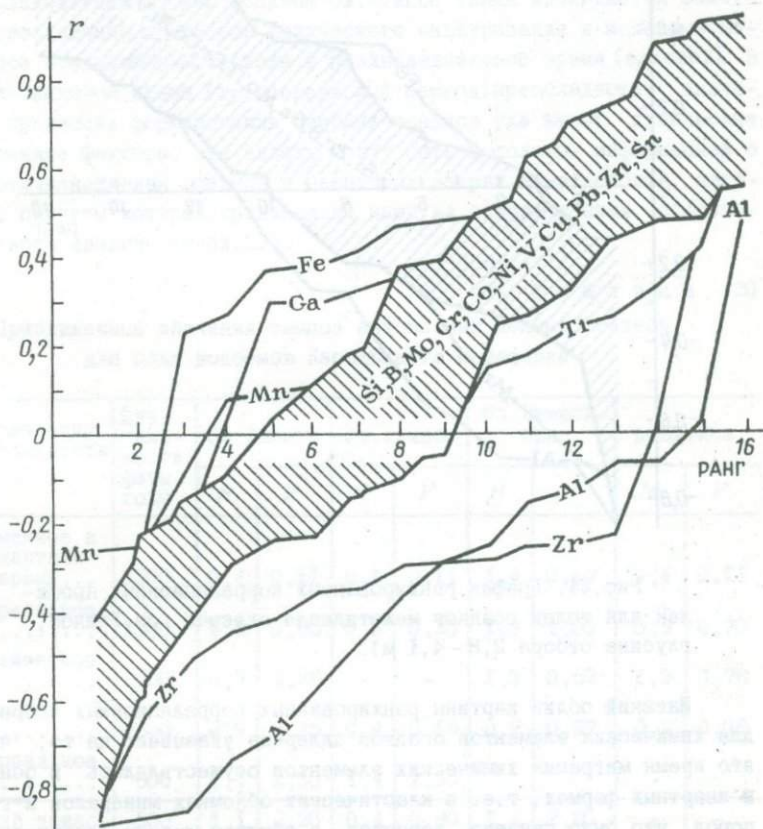


Рис.23. График ранжированных корреляционных профилей для толщи осадков предбореального периода (оз.Утинное, глубина отбора 1,1 - 2,5 м).

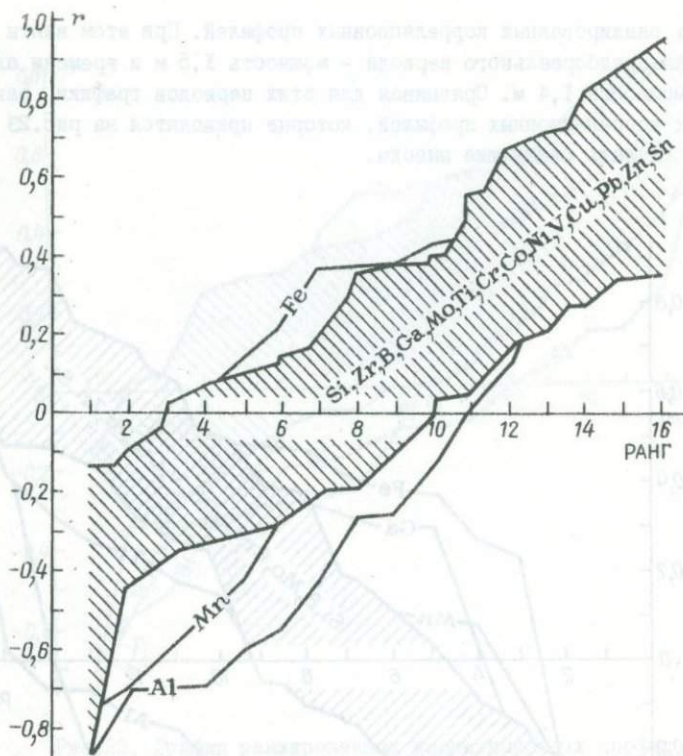


Рис.24. График ранжированных корреляционных профилей для толщи осадков межстадиала аллерёд (оз.Утинное, глубина отбора 2,8-4,1 м).

Внешний облик картины ранжированных корреляционных профилей для химических элементов осадков аллерёда указывает на то, что в это время миграция химических элементов осуществлялась в основном в инертных формах, т.е. в кластических обломках минералов и горных пород, что было связано, вероятно, с обилием мутных флювиогляциальных потоков, несущих с собой значительное количество грубого осадочного материала. В предбореальное время картина миграции химических элементов заметно меняется и многие из них сильно изменяют соотношение своих концентраций в инертных и подвижных формах, на-

чинают проявлять свои, особые химические свойства в данных условиях ландшафта. В частности, один из элементов-гидролизатов - галлий - основным источником которого в осадках являются кристаллические породы, уже освобожденный из плена минералов и получил в новых условиях большую подвижность, чем его хорошо известный "хозяин"-алюминий.

Следовательно, для осадков оз. Утинное также наблюдается заметное преобладание процессов физического выветривания и механического сноса осадочного материала в позднеледниковое время (аллерёд). В послеледниковое время (предбореальный период) преобладающее значение в процессах формирования озерных осадков уже имеют химические и биогенные факторы. Эти выводы могут быть дополнены информацией о скорости накопления осадков в некоторых озерах Карельского перешейка, расчеты которой произведены нами на основе данных споропыльцевого анализа (табл.20).

Т а б л и ц а 20

Приближенные значения темпов накопления донных осадков для ряда водоемов Карельского перешейка

Фазы развития растительности	Длительность фазы, годы	Оз. Лопата		Оз. Утинное		Оз. Вишневское		р. Вуокса	
		<i>H</i>	<i>V</i>	<i>H</i>	<i>V</i>	<i>H</i>	<i>V</i>	<i>H</i>	<i>V</i>
Современное и субатлантическое время...	3500	0,4	0,11	0,4	0,11	1,4	0,40	0,4	0,11
Суббореальное время.....	1300	1,1	0,85	0,3	0,23	1,3	1,00	0,9	0,70
Атлантическое время.....	2500	0,7	0,28	-	-	1,3	0,52	1,9	0,76
Бореальное время.....	2600	0,9	0,35	0,4	0,15	0,7	0,27	0,2	0,08
Пребореальное время.....	600	1,4	2,30	1,4	2,30	-	-	-	-
Верхний дриас	500	1,1	2,20	0,4	0,80	1,4	2,80	-	-
Аллерёд.....	1000	1,1	1,10	1,2	1,20	0,6	0,60	4,2	4,20
Средний дриас	700	0,4	0,57	0,4	0,57	-	-	0,2	0,29
Бёллинг.....	2000(?)	0,9	0,45	0,3	0,15	-	-	1,4	0,70

Примечание: *H* - мощность донных осадков, м; *V* - темп накопления осадков, мм/год.

Из данных таблицы следует, что в целом для позднеледникового времени темп накопления осадков в озерах был заметно выше, чем в среднем для послеледникового времени. Это говорит о большой скорости поступления осадочного материала в конечные водоемы стока, что, естественно, может быть связано с весьма интенсивным физическим выветриванием горных пород на водосборных площадях и механическим сносом их обломков относительно быстрыми потоками вод. Скорость накопления осадков оз. Суури в позднеледниковое время намного больше, чем в послеледниковое. Но для ряда озер, в том числе для оз. Утиное, в предбореальное время все же наблюдается весьма высокий темп накопления осадков - до 2,0 мм/год. Такой высокий темп мог быть вызван, например, резким поднятием территории водосборов, в особенности тех озер, которые расположены в области кристаллического фундамента. Однако такие темпы накопления сопровождались одновременно процессами значительного освобождения химических элементов из минералов, а это возможно лишь в сочетании с активными действиями живых организмов на водосборе, о чем говорилось нами выше. Следовательно, предбореальный период можно считать весьма важным рубежом голоцена, по обе стороны от которого течение процессов на водосборных площадях имело резко отличный характер.

Таким образом, рассмотренный нами на ряде конкретных примеров метод ранжированных корреляционных профилей оказывается весьма оригинальным приемом, позволяющим в сочетании с другими методами исследований решать ряд важных палеогеографических задач. Можно также сказать, что рассмотренные в данной главе приемы геохимических исследований толщ озерных осадков могут быть не без успеха применены и при изучении других молодых четвертичных образований.

30,0	2,2	22,0	2,7	-	-	22,0	2,0	0,25	ВОДОСБОРНАЯ ПЛОЩАДЬ
20,0	2,0	18,0	2,0	15,0	2,0	15,0	2,0	0,25	ВОДОСБОРНАЯ ПЛОЩАДЬ
10,0	1,5	8,0	1,7	6,0	1,7	6,0	1,7	0,25	ВОДОСБОРНАЯ ПЛОЩАДЬ
5,0	1,0	4,0	1,0	3,0	1,0	3,0	1,0	0,25	ВОДОСБОРНАЯ ПЛОЩАДЬ
2,0	0,5	1,5	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	0,25	ВОДОСБОРНАЯ ПЛОЩАДЬ
1,0	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2	0,25	ВОДОСБОРНАЯ ПЛОЩАДЬ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Донные отложения современных озер представляют собой одно из интересных и необычных природных образований. С одной стороны, они являются составной частью аквального ландшафта, одним из его связанных между собой компонентов. С другой, их можно представить себе как особый природный продукт, возникающий и непрерывно накапливающийся на дне водоема в результате сложного взаимодействия механических, физических, химических, биологических и других процессов, протекающих во времени как на территории водосбора, так и в самом озере. Это делает донные отложения сложными, генетически неоднородными, многокомпонентными, гетерогенными органо-минеральными системами, в составе и свойствах вещества которых могут находить свое отражение указанные процессы. Поиски этого "отражения" следует вести при помощи глубокого и всестороннего изучения вещества донных отложений, что требует от геохимии ландшафта особого внимания и специальных методов исследования.

Проведенные с этих позиций геохимические исследования донных отложений современных озер Карельского перешейка показали, что этому особенно способствует применение комплекса различных методов, в частности, количественного спектрального, спорово-пыльцевого, гранулометрического, рационального и др. Использование методов математической статистики и теории информации значительно увеличивает надежность получаемых результатов. Наиболее эффективным является применение математической статистики непосредственно на "выходе" метода количественного спектрального анализа валовых содержаний элементов, разработанного автором. В этом варианте статистической обработке подвергают не сами значения концентраций элементов в осадках, а их физические аналоги - значения плотностей почернения спектральных линий, так называемые косвенные величины концентраций - КВК. Этот прием позволяет избежать весьма трудоемкой операции по массовому переводу значений почернения линий элементов в соответствующие им значения концентраций, а также связанных с ней ошибок. Кроме того, однотипность законов распределения ошибок спектрального анализа и величин концентраций элементов в озерных осадках обо-

печивает при использовании этого приема более достоверное нахождение оценок различных геохимических показателей – природной дисперсии, средней арифметической из логарифмов концентраций, средней арифметической величины самих концентраций, значений парных коэффициентов корреляции между элементами. Метод "ранжированных корреляционных профилей", предложенный автором, позволяет выявлять геохимические ассоциации элементов и определять относительную способность элементов к миграции в данных условиях среды.

Использование комплекса разнообразных методов исследования вещества озерных осадков и обработки полученных данных позволили выявить для ландшафтов Карельского перешейка и донных отложений его озер целый ряд характерных особенностей.

1. Характер геохимических процессов, генерирующих концентрации химических элементов в осадки изученных озер южной и северной частей перешейка, весьма различен. Это проявляется в величинах природной вариабельности содержаний элементов в озерных осадках: в области холмисто-моренных ландшафтов Русской равнины численные значения природной дисперсии содержаний ряда элементов значительно выше, чем для области развития сельгово-озерных ландшафтов Фенноскандии. Однако в некоторых случаях численное значение природной дисперсии содержаний элементов оказалось близким или равным нулю, что еще раз убедительно доказывает правильность ранее сделанного вывода о необходимости учета аналитической дисперсии в геохимических построениях.

2. Существенные различия в ландшафтных условиях северной и южной частей перешейка нашли свое отражение во внешнем облике кривых изменения энтропии фракционной сортированности озерных осадков. Для озер южной части кривая изменения энтропии имеет более плавный, сглаженный вид, чем для осадков его северных озер, у которой наблюдается характерный относительный минимум энтропии для критического размера частиц на границе алевритовых и глинистых фракций, а также два четко выраженных максимума. Такое различие может быть вызвано как несхожим способом транспортировки осадочного материала в водоемы этих двух частей перешейка, так и неодинаковым течением в них процессов его сортировки, осаждения и переотложения.

3. По сравнению с кларками литосферы и осадочных пород в озерных осадках Карельского перешейка наблюдаются повышенные содержания марганца, железа, галлия, кобальта, свинца и в какой-то степени кремния. В осадках озер северной части перешейка по сравнению с южной происходит определенная аккумуляция исследованных элемен-

тов за исключением титана, циркония и серебра. В пределах водосборных площадей весьма активными мигрантами являются железо и марганец, что подтверждается высокими значениями их коэффициентов биологического поглощения. Повышенные содержания марганца в различных компонентах ландшафтов и его накопление в осадках озер позволяют, вероятно, именовать Карельский перешеек "железисто-марганцовистой геохимической провинцией".

4. Начальным периодом накопления осадков в озерах Карельского перешейка следует считать межстадиал бёллинг. Наиболее интенсивное освобождение компонентов природы перешейка от остаточного влияния позднеледникового периода наблюдается с предбореального времени. Это особенно проявляется в изменении характера миграционной способности элементов, которые значительно увеличивают свою подвижность начиная с этого времени.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

А б р а м о в а Т.Г. Географические особенности болот Карельского перешейка. - В кн.: Северо-Запад европейской части СССР. Л., 1959, вып.1.

А б р а м о в а Т.Г., К о з л о в а Г.И. Геоботанические районы Северного Приладожья и Карельского перешейка. - Вестн. Ленингр. ун-та, 1957, № 24.

А л а б ы ш е в В.В. Зональность озерных отложений. - Изв. Сапропелевой комис., 1932, вып.6.

А л е к и н О.А. Химия океана. Л., 1966.

А л е к с е е н к о Л.Н. Водный режим луговых растений в связи с условиями среды. Л., 1976.

Б а а с Б е к и н г Л.Г.М., К а п л а н И.Р., М у р Д. Пределы колебаний рН и окислительно-восстановительных потенциалов природных сред. - В кн.: Геохимия литогенеза. М., 1963.

Б а р к а н о в И.В. Четвертичный покров Восточной (советской) части Балтийского кристаллического щита и его поисковое значение. - В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Запада РСФСР. Л., 1967, вып.7.

Б е р е з к и н а Г.А. и др. Характеристика иловых отложений озер ложбинного типа Выборгского района на примере оз.Вишневоое. - В кн.: Химия в естественных науках. Л., 1965.

Б е р е з к и н а Г.А. и др. Характеристика донных отложений различных типов озер Карельского перешейка. - В кн.: Северо-Запад европейской части СССР. Л., 1966, вып.5.

Б е у с А.А. Геохимия литосферы. М., 1972.

Б о р о в и к С.А. Использование фона для количественных спектральных анализов минерального сырья. - ДАН СССР, 1942, т.36, № 6.

Б р а к ш Н. и др. Сапропелевые отложения водоемов Латвийской ССР. Рига, 1967.

Б р о д с к а я Н.Г. Осадкообразование в озерах засушливой зоны СССР. Аральское озеро-море. - В кн.: Образование осадков в современных водоемах. М., 1954.

Б у р к о в Ю.К. Линейные парагенезисы малых элементов в осадочных толщах как индикаторы условий седиментогенеза. - В кн.: Физические и химические процессы и фации. М., 1968.

Великославенский Д.А. Петрология Выборгского массива рапакиви. - Труды лаборатории геол. докембр. АН СССР, 1953, вып.3.

Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. - "Теохимия", 1962, № 7.

Вишневская Е.М., Джиноридзе Р.Н. Диатомовые водоросли из озерных отложений Карельского перешейка. - В кн.: Материалы II симпозиума по истории озер Северо-Запада СССР. Минск, 1967.

Гвоздецкий Н.А. Основные проблемы физической географии. М., 1979.

Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М., 1964.

Грейсер Е.Л. К характеристике озер Карельского перешейка. - В кн.: Материалы к симпозиуму по истории озер Северо-Запада. Л., 1965.

Григорьев А.А. Основы теории физико-географического процесса. - Труды II Всесоюзного географического съезда. М., 1948, т. I.

Дзенс-Литовский А.И. Соляные озера СССР и их минеральные богатства. Л., 1968.

Добровольский В.В. Атомы в ландшафте. М., 1964.

Дубов Р.И. Количественные исследования геохимических полей для поисков рудных месторождений. Новосибирск, 1974.

Завьялов В.А. Геохимия и микроэлементы доманиковых отложений южного Притиманья. М., 1966.

Захарова А.Ф. Климатическое районирование Карельского перешейка для целей сельского хозяйства. - Вестн. Ленингр. ун-та, 1957, № 24.

Знаменская О.М., Романова В.П. Геоморфологическое районирование Северного Приладожья и Карельского перешейка. - В кн.: Северо-Запад европейской части СССР. Л., 1966, вып.5.

Зхус И.Д. Глинистые минералы и их палеогеографическое значение. М., 1966.

Исаченко А.Г. Основы ландшафтоведения и физико-географическое районирование. М., 1965.

Исаченко А.Г., Дашкевич З.В., Карнаухова Е.В. Физико-географическое районирование Северо-Запада СССР. Л., 1965.

- Калесник С.В. Основы общего землеведения. М.;Л., 1947.
- Калесник С.В. Ладожское озеро. Л., 1968.
- Карасев Б.В. Статистический подход к изучению природы и некоторые закономерности распределения вещества Земли. - В кн.: Пути познания Земли. М., 1971.
- Катченков С.М. Спектральный анализ горных пород. Л., 1964.
- Келлер У.Д. Основы химического выветривания. - В кн.: Геохимия литогенеза. М., 1963.
- Ковда В.А. Основы учения о почвах. М., 1973, кн. первая.
- Козлова Г.И. Некоторые предварительные выводы о лугах Карельского перешейка. - Вестн. Ленингр. ун-та, 1956, № 18.
- Колмогоров А.Н. О логнормальном законе распределения размеров частиц при дроблении. - ДАН СССР, 1941, т.31, № 2.
- Конторович А.Э. Формы миграции элементов в реках гумидной зоны (по материалам Западной Сибири и других районов). - В кн.: Геохимия осадочных пород и руд. М., 1968.
- Крамбейн У., Кауфмен М., Мак-Кеммон Р. Модели геологических процессов. М., 1973.
- Кудымов Б.Я. Спектральный каротаж скважин. М., 1960.
- Лукашев К.И. и др. Геохимия озерно-болотного литогенеза. Минск, 1971.
- Лыгина В.В., Саранчина Г.М. Геологическое строение и особенности метаморфизма кристаллических пород северной части Карельского перешейка. - В кн.: Вопросы магматизма и метаморфизма. Л., 1964, т.П.
- Малясова Е.С. Результаты применения метода спорово-пыльцевого анализа для стратиграфического расчленения четвертичных отложений Кольского полуострова, Карелии и Карельского перешейка. - В кн.: Сборник по палеогеографии и стратиграфии четвертичных отложений. Л., 1960, вып.2.
- Малясова Е.С., Спиридонова Е.А. Новые данные по стратиграфии и палеогеографии Карельского перешейка. - "Балтика". Вильнюс, 1965, т.2.
- Малясова Е.С., Спиридонова Е.А. Метод спорово-пыльцевого анализа. - В кн.: Геология четвертичных отложений Северо-Запада европейской части СССР. Л., 1967.
- Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М., 1968.
- Миллер Р., Кан Дж. Статистический анализ в геологических науках. М., 1965.

Миллер А.Д., Степанов П.А. Спектральное определение микроэлементов в водах и вытяжках на основе соосаждения с сульфидом кадмия. Л., 1959, вып.17.

Нагибина И.М., Прокофьев В.К. Спектральные приборы и техника спектроскопии. Л., 1967.

Овчинникова А.И. Типы вегетационных периодов на территории Северо-Запада РСФСР в связи с характером циркуляции атмосферы. - В кн.: Северо-Запад европейской части СССР. Л., 1966, вып.5.

Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М., 1975.

Перфильев Б.В. Микрозональное строение иловых озерных отложений и методы его исследования. Л., 1972.

Полынов Б.Б. Кора выветривания. Л., 1931, ч.1.

Полынов Б.Б. Руководящие идеи современного учения об образовании и развитии почв. - "Почвоведение", 1948, №1.

Пономарева В.В. Закономерности почвообразования на Карельском перешейке и некоторые общие вопросы почвообразования. - В кн.: Современные почвенные процессы в лесной зоне европейской части СССР. М., 1959.

Прокофьев В.К. Фотографические методы спектрального анализа. М.;Л., 1951, ч.П.

Разумовский Н.К. Характер распределения содержания металлов в рудных месторождениях. - ДАН СССР, 1940, т.28, №9.

Разумовский Н.К. К вопросу о выделении аномалий на фоне обычных содержаний элементов в породе при поисковых работах. - В кн.: Вопросы разведочной геофизики, 1962, вып.1.

Рекшинская Л.Г. Атлас электронных микрофотографий глинистых минералов и их природных ассоциаций в осадочных породах. М., 1966.

Ремезов Н.П. Соотношение между биологической аккумуляцией и элювиальными процессами. - "Почвоведение", 1958, №6.

Рожнова Т.А. Почвенный покров Карельского перешейка. М.;Л., 1963.

Романовский С.И. Применение теории информации для решения некоторых задач литологии. - Труды ВСЕГЕИ. Л., 1968, т.150, вып.1.

Россоломо Л.Д. Основы типизации озер и лимнологического районирования. - В кн.: Накопление вещества в озерах. М., 1964.

Савинов Ю.А., Романова В.П. Современный рельеф Ленинградской области. - Атлас Ленинградской области. М., 1967.

Сафронов Н.И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Л., 1971.

Семенович Н.И. О нахождении вивианита в оз.Муолан - Ярви. - Труды Лаборатории Озероведения АН СССР, 1952, т.2.

Семенович Н.И. Лимнологические условия накопления железистых осадков в озерах. - Труды Лаборатории Озероведения АН СССР, 1958, т.6.

Семенович Н.И. Донные отложения Ладожского озера. М.; Л., 1966.

Серебрянный Л.Р. К палеогеографии голоцена в районе Балтики (в свете данных радиоуглеродного метода). - В кн.: Вопросы голоцена. Вильнюс, 1961.

Страхов Н.М. О сравнительно-литологическом направлении и его ближайших задачах. - Бюллетень Московского общества испытателей природы, отделение геологии, 1945, № 3-4.

Страхов Н.М. и др. Образование осадков в современных водоемах. М., 1954.

Страхов Н.М. Типы распределения рассеянных содержаний элементов. - Геохимия, 1956, № 6.

Страхов Н.М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М., 1963.

Страхов Н.М. К теории геохимического процесса в гумидных зонах. - В кн.: Геохимия осадочных пород и руд. М., 1968.

Страхов Н.М. Развитие литогенетических идей в России и СССР. М., 1971.

Таргульян В.О. Геохимия ортоэлювия холодных гумидных областей (тундровых и северо-таежных ландшафтов). - В кн.: Геохимия ландшафта. М., 1967.

Тарновский А.А. О некоторых возможностях применения эмиссионного спектрального анализа и методов математической статистики в геохимических исследованиях ландшафтов. - В кн.: Северо-Запад европейской части СССР. Л., 1969а, вып.7.

Тарновский А.А. К вопросу о литолого-геохимической характеристике субаквальных ландшафтов Карельского перешейка. - В кн.: Северо-Запад европейской части СССР. Л., 1969б, вып.7.

Тарновский А.А. Стохастический подход к вопросу о геохимических ассоциациях и миграционной способности химических элементов в ландшафте. - В кн.: Тезисы докладов к конференции молодых ученых, посвященной 150-летию университета и 50-летию географического факультета. Л., 1969в.

Тарновский А.А., Сочилина Б.Е. Метод рационального (фазового) анализа следовых элементов при геохимических исследованиях ландшафта. - В кн.: Северо-Запад европейской части СССР. Л., 1969, вып.7.

Тарновский А.А., Лабзин Л.А. Некоторые геохимические особенности поверхностного слоя донных отложений Финского залива. - В кн.: Северо-Запад европейской части СССР. Л., 1969, вып.7.

Тарновский А.А., Березкина Г.А., Сочилина Б.Е. К вопросу о высокочувствительном спектрохимическом методе одновременного количественного определения микроэлементов в природных объектах. - В кн.: Северо-Запад европейской части СССР. Л., 1969, вып.7.

Филенко Р.А. Гидрологические районы Карельского перешейка. - Вестн.Ленингр.ун-та, 1957, № 24.

Филенко Р.А. Гидрологические особенности Карельского перешейка. - Учен.зап.ЛГУ, 1960, № 292, вып.14.

Филенко Р.А., Березкина Г.А. Химический состав и ионный сток рек Карельского перешейка. - В кн.: Северо-Запад европейской части СССР. Л., 1969, вып.7.

Фишман И.С. Методы количественного спектрального анализа. - Казань, 1961.

Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями. М., 1956.

Шоу Д.М. Геохимия микроэлементов кристаллических пород. Л., 1969.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	3
Глава I. Некоторые особенности образования озерных осадков в гумидных ландшафтах и основные принципы их геохимических исследований.	5
Глава II. Методика исследований.	25
Глава III. Природные условия Карельского перешейка.	41
Глава IV. Общая характеристика донных отложений озер	63
Глава V. Закономерности распределения содержаний химических элементов в донных отложениях современных озер Карельского перешейка.	88
Глава VI. Некоторые исторические аспекты геохимии озерных осадков	137
Заключение.	163
Указатель литературы.	166

1 р. 60 к.

400

7