

Д.В. Московченко

Экогеохимия нефтегазодобывающих районов Западной Сибири



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ОСВОЕНИЯ СЕВЕРА

Д.В. Московченко

**ЭКОГЕОХИМИЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНОВ
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Ответственный редактор
д-р биол. наук *С.П. Арефьев*



НОВОСИБИРСК
АКАДЕМИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО "ГЕО"
2013

УДК 550.4:911.52
ББК 26.82
М824

Московченко, Д.В. Экогеохимия нефтегазодобывающих районов Западной Сибири / Д.В. Московченко ; отв. ред. С.П. Арефьев ; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т проблем освоения Севера. – Новосибирск : Академическое изд-во “Гео”, 2013. – 259 с.
ISBN 978-5-906284-28-0 (в пер.).

В работе на обширном фактическом материале проведен системный анализ эколого-геохимического воздействия нефтегазодобывающего комплекса на природную среду Западной Сибири. Рассмотрены основные геохимические характеристики природных ландшафтов тундровой и таежной зон, выполнена оценка микроэлементного состава почвообразующих пород и почв. Проанализированы виды техногенного загрязнения на стадиях геолого-разведочных работ и эксплуатации месторождений, отражены закономерности миграции различных загрязнителей. Обобщены данные гидрохимического мониторинга на месторождениях Ханты-Мансийского автономного округа. Доказано формирование гидрохимических аномалий при нарушении принципов безопасного природопользования. Отмечена тенденция к постепенному снижению солевого и нефтяного загрязнения.

Издание рассчитано на специалистов в области геоэкологии и охраны природы.

Рецензенты:

д-р геогр. наук *В.В. Козин*,
д-р биол. наук *А.В. Соромотин*,
канд. геол.-мин. наук *С.Л. Дорожужкова*

ВВЕДЕНИЕ

Добыча нефти и газа в Западной Сибири ведется уже полвека. Все это время интенсивно развивается промышленная и транспортная инфраструктура, увеличивается численность населения, возрастает нагрузка на природные комплексы. К настоящему времени объем добытой в Западной Сибири нефти превысил 10 млрд т, что заставляет вспомнить высказывание В.И. Вернадского о превращении человечества в реальную геологическую силу. Разведанные запасы углеводородного сырья составляют приблизительно 60 млрд т условного топлива, поэтому еще долгое время нефтегазовый комплекс региона будет обеспечивать энергетические потребности России и многих других стран. Нет сомнений в том, что деятельность Западно-Сибирской нефтегазовой отрасли крайне важна для российской и мировой экономики.

Однако промышленное освоение севера Западной Сибири происходит в сложных природных условиях, определяющих неблагоприятную геоэкологическую ситуацию. Широкое распространение многолетнемерзлых пород, значительная заболоченность, низкий биопродукционный потенциал снижают устойчивость природных комплексов и затрудняют производственную деятельность. Опыт строительства и эксплуатации промышленных объектов свидетельствует, что риск деградации природной среды на севере Западной Сибири весьма велик. Изменения в экосистемах, обусловленные развитием нефтегазодобывающего комплекса, стали причиной сокращения площади территорий традиционного природопользования коренных малочисленных народов, занимающихся рыбным промыслом, промысловой охотой, оленеводством. И растущая потребность в энергетических ресурсах приводит к дальнейшему усилению техногенной нагрузки. Интенсивная эксплуатация природных ресурсов региона в условиях низкой устойчивости геосистем к различным видам техногенных воздействий предопределяет существование целого комплекса экологических проблем, одной из которых является загрязнение природной среды различными химическими веществами и соединениями.

Усилиями множества представителей науки, средств массовой информации и литературы в общественном сознании сложилась устойчивая картина широкомасштабного загрязнения Тюменского Севера. И это имеет под собой веские основания. Ежегодно на нефтепромыслах происходят тысячи аварий различной степени тяжести, попутный газ частично сжигается на факельных установках, отходы производства являются источником токсичных веществ. Обеспокоенность общественности проблемами загрязнения нашла свое отражение в деятельности и решениях органов государственной власти различных уровней. На 7-й

сессии Совета народных депутатов Ханты-Мансийского автономного округа (1992 г.) рассматривался вопрос об объявлении территории ХМАО зоной чрезвычайной экологической ситуации. В статье 7 Закона ХМАО “Об охране окружающей природной среды и экологической защите населения” указано, что округ “...является территорией с высоким уровнем фонового загрязнения в результате антропогенного и техногенного воздействия и повышенным риском производственных аварий и пожаров на нефтепромыслах”.

Решение региональных экологических проблем невозможно без тщательного научного анализа. Не случайно количество научных работ эколого-геохимической направленности, описывающих формы и масштабы загрязнения при разработке месторождений углеводородов, исчисляется сотнями. Как российскими, так и иностранными учеными сделаны обобщения, характеризующие экологическое состояние территории [138, 188, 213, 254, 268]. Описаны масштабы и формы загрязнения, рассмотрены источники поступления и пути миграции основных загрязнителей – нефти и нефтепродуктов, минерализованных пластовых вод, тяжелых металлов, соединений азота, полициклических ароматических углеводородов [77, 93, 130, 207, 234].

Представление о том, что Тюменская область – район с крайне высоким уровнем загрязнения почв и природных вод, стало обыденным. Высказывались мнения, что на севере Западной Сибири, в бассейне Оби и Пура, практически не осталось незагрязненных рек [225, 226]. В докладе, подготовленном зарубежными исследователями по заданию организации “Greenpeace”, подчеркивается, что более 50 % рыбохозяйственных рек в Нижневартовском районе загрязнены нефтью [268]. Утверждается, что “...в Тюменской области из-за загрязнения нефтью, нефтепродуктами, высокотоксичным диэтиленгликолем более 200 рек полностью лишены жизни” [188, с. 65]. Подобная точка зрения, основывающаяся на результатах ряда работ, отражает сложившееся в общественном сознании мнение о крайне тяжелой экологической обстановке в регионе. Часто публикуемые сведения о загрязнении создают картину “...апокалиптического истребления природы в Западной Сибири” [99, с. 40].

Является ли это мнение объективным отражением состояния природной среды региона на современном этапе? Ведь нельзя не отметить, что вопросам охраны окружающей природной среды и формированию системы рационального, экологически безопасного природопользования в Западно-Сибирском нефтегазовом комплексе уделяется в настоящее время очень большое внимание. Все работы по освоению месторождений углеводородного сырья предваряются проведением инженерно-экологических изысканий, законодательно утверждено положение о проведении мониторинга состояния окружающей среды, а загрязнение наказывается серьезными санкциями. Для ответа на поставленный выше вопрос необходим комплексный анализ максимального объема информации, сделанный на надежной методологической основе.

Научные работы, затрагивающие проблемы геохимии ландшафта и экогеохимии Западной Сибири, ведутся относительно недавно, однако их объем возрастает год от года. Отдельные аспекты геохимических исследований присутствовали в ранних инженерно-геологических изысканиях, которые начались в послевоенный период. Жизнеустройство общества в тот период нашло свое отражение в организации работ. Так, первые данные о составе грунтов п-ова Ямал были получены в начале 1950-х гг. при проведении изысканий для строительства печально известной железной дороги от Салехарда до Норильска (работы проводились МГБ СССР). Но систематические ландшафтно-геохимические исследования в северных районах Западной Сибири начались в 60-х гг. XX в., в ходе работ по освоению нефтяных и газовых месторождений.

Научные исследования, сопровождавшие развитие Западно-Сибирского топливно-энергетического комплекса, кроме других приоритетов, имели целью сохранение природы региона. Поэтому обращение к ландшафтно-геохимической тематике, нацеленной на выявление закономерностей миграции и аккумуляции вещества в географической оболочке, не случайно. Наиболее крупный вклад на начальном этапе исследований ландшафтно-геохимической структуры Западно-Сибирской равнины был сделан сотрудниками географического факультета Московского университета, в особенности М.А. Глазовской и Н.П. Солнцевой. Результатами их работ были оценка условий миграции и аккумуляции вещества и разработка ландшафтно-геохимических критериев устойчивости природных комплексов. На примере нефтедобывающих регионов была проведена оценка самоочистительного потенциала ландшафтов и дана прогнозная оценка последствий техногенеза [58–60, 62, 206, 208]. Впоследствии Н.П. Солнцевой [207] на большом эмпирическом материале описаны особенности миграции и аккумуляции продуктов техногенеза (нефти, хлоридов) в ландшафте. Таким образом, районы нефтедобычи Западной Сибири стали своеобразным полигоном для теоретических и прикладных обобщений в данном научном направлении.

Фундаментальный вклад в познание закономерностей структурно-функциональной организации геосистем Западной Сибири с позиции геохимии ландшафтов был сделан Е.Г. Нечаевой, в серии работ описавшей геохимические особенности почв, поверхностных вод и других компонентов ландшафтов таежного Обь-Иртышья, охарактеризовавшей закономерности миграции отдельных микро- и макроэлементов [148–150, 152–155, 158].

В конце 1980–начале 1990-х гг. благодаря экологизации общественного сознания начинается новый этап изучения геохимических особенностей ландшафтов Западной Сибири. Освоение месторождений сопровождается комплексным экологическим анализом в рамках процедур оценки фоновое состояния и прогнозной оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) – все это рассматривается в качестве основы не только для рационального природопользования в пределах месторождения, но и для разработки стратегии сбалансированного развития регио-

на в целом [210]. В этот период ландшафтно- и эколого-геохимические работы приобретают систематический характер, появляются многочисленные публикации, в которых рассматриваются вопросы воздействия объектов геологоразведки и нефтегазодобычи на природные комплексы Севера. Следует отметить работы Н.В. Савченко [194, 195] о загрязнении поверхностных вод Ямала в районах хозяйственного освоения; М.П. Тентюкова [223, 224], исследовавшего химический состав почв и растительности п-ова Ямал и закономерности формирования атмосферных аэрозолей; С.Л. Дорожуковой [75], проводившей эколого-геохимические исследования в различных природных зонах Западной Сибири и обобщившей данные о составе почв, поверхностных вод и снегового покрова в нефтегазодобывающих районах Тюменской области. Коллективом ФГУП “Аэрогеология” выявлены принципы исследования и проведен региональный анализ фоновых геохимических параметров Ямало-Ненецкого и частично – Ханты-Мансийского автономных округов [211]. А.М. Фокиной [234] были определены основные закономерности формирования природно-техногенных геосистем в Западно-Сибирской Субарктике, в работе А.В. Соромотина [213] комплексно проанализировано влияние нефтедобычи на биоценозы таежной зоны. Изучение микроэлементного состава почв и почвообразующих пород Западной Сибири в течение длительного времени проводилось Институтом почвоведения и агрохимии СО РАН, и обобщение полученных результатов было сделано А.И. Сысо [218, 219]. На основании ретроспективного анализа гидрохимического режима Оби и основных притоков, начиная с 1950-х гг., был сделан вывод о техногенном изменении солевого состава [133, 230, 231]. Особенно интенсивно исследовалась геохимия техногенеза на месторождениях нефти и газа в Тюменской области в последние 10 лет. В настоящее время недропользователи обязаны создать систему регулярных наблюдений на лицензионных участках добычи углеводородного сырья и соблюдать условия по сохранению компонентов природной среды. Экологический мониторинг в соответствии с Федеральным законом № 7-ФЗ от 10.01.2002 “Об охране окружающей природной среды” проводится с начала разработки месторождения и охватывает различные природные среды: атмосферный воздух, поверхностные воды, донные отложения и почвы. Только на территории Ханты-Мансийского автономного округа в региональную базу данных в настоящее время поступают сведения, характеризующие химический состав представительных природных сред в районах размещения объектов нефтедобывающего комплекса более чем по 250 лицензионным участкам. Трудно назвать другой регион, где химический состав объектов окружающей среды изучался бы в столь массовом порядке. Работы эколого-геохимической направленности для территории Западной Сибири проводятся многочисленными научными и производственными коллективами, число публикаций постоянно увеличивается и исчисляется сотнями, уже сделаны специальные библиографо-аналитические обзоры, посвященные данной тематике [25].

И все же, несмотря на большой объем исследований, следует признать, что до сих пор отсутствует ясное представление о степени техногенной геохимической трансформации, ее масштабах и об экологической опасности. Современный уровень знаний, накопленный при изучении геохимии природных и техногенных ландшафтов Западной Сибири, остается недостаточным вследствие масштабов стоящей проблемы и несовершенства научно-методического обеспечения. Научный анализ часто подменяется констатацией отдельных фактов, а формирование общественного сознания сильно, если не в решающей степени, зависит от средств массовой информации, зачастую выполняющих “социальный заказ”. Наличие разноплановых данных позволяет путем их целенаправленного выбора и интерпретации доказать как наличие повсеместно загрязнения, так и его отсутствие. Также следует отметить, что многие труднодоступные районы до сих пор слабо исследованы. Разнообразие природных условий и широкий спектр загрязняющих веществ, отсутствие многолетних рядов наблюдений делают крайне сложным анализ ответной реакции природных комплексов различного уровня на техногенное воздействие. Зачастую работы по изучению техногенеза и мониторингу загрязнения выполняются научно-производственными организациями и экологическими службами недропользователей без четкой методической основы. Слабое знание особенностей структурно-функциональной организации геосистем затрудняет правильную интерпретацию полученных в ходе опробования результатов. Необходимо также признать, что химико-аналитическое обеспечение часто не соответствует уровню задач, которые стоят перед фундаментальной и прикладной наукой. Использование разных методик химических анализов часто дает несопоставимые результаты. Ко всему этому нужно добавить и нехватку оперативной и объективной информации – до сих пор фактически отсутствуют общедоступные базы данных по экогеохимии региона. Все это определяет необходимость комплексного регионального исследования, нацеленного на оценку ландшафтно-геохимических особенностей региона и последствий техногенеза. Очевидно, что подобная оценка должна опираться на большой объем фактического материала, отображающего типологическое многообразие как геосистем спонтанного развития, их особенности функционирования, так и их техногенных модификаций, учитывать особенности воздействия различных источников загрязнения.

При написании книги автор поставил перед собой две задачи: дать ландшафтно-геохимическую характеристику северных районов Западной Сибири и провести эколого-геохимический анализ, обобщив материалы собственных исследований и данные мониторинга, проводимого недропользователями на месторождениях ХМАО и ЯНАО. Задачи эти взаимосвязаны, поскольку всякий эколого-геохимический анализ должен базироваться на знаниях о ландшафтно-геохимических особенностях региона. Анализ процессов техногенеза предварительно требует тщательного исследования свойств геосистем спонтанного развития. В системе знаний о химическом составе географической оболочки цент-

ральным является представление о ландшафтно-геохимических комплексах – закономерном сочетании элементарных ландшафтов, связанных миграцией вещества. Миграционные потоки веществ – интегрирующий фактор в геосистемах различного таксономического уровня. Разработанные в трудах Б.Б. Польшова [177], М.А. Глазовской [57, 58], А.И. Перельмана [167] положения геохимии ландшафта опираются на учение В.В. Докучаева о зонах природы и концепцию В.И. Вернадского о геохимической роли биосферы, которая проявляется в самоорганизации и функционировании ее структурных элементов – геохор. Поскольку геохимия ландшафтов дает возможность анализа химических показателей природно-территориальных комплексов различного ранга в их системной целостности, это направление оказалось востребованным для решения многих фундаментальных и прикладных задач, связанных с экологической оценкой, прогнозом, мониторингом окружающей среды, в том числе и в Западной Сибири.

В основу монографии положены результаты многолетних исследований, выполненных автором в различных природных зонах – от арктических тундр до южной тайги. Материалы получены при выполнении ряда программ: геолого-экологического картирования территории России масштаба 1:1000 000, в ходе которой автор исследовал Среднее Приобье и Об-Иртышское междуречье; программы создания и расширения системы особо охраняемых природных территорий Ханты-Мансийского автономного округа с изучением участков природных парков “Нумто” (Белоярский район ХМАО) и “Кондинские Озера” (Советский район ХМАО), заказников “Сургутский” и “Елизаровский”, водно-болотных угодий международного значения “Верхнее Двубье”, федеральной целевой программы “Биологическое разнообразие”; гранта фонда Мак-Артуров “Нефтегазодобыча и окружающая среда: эколого-геохимический анализ Тюменской области”; гранта РФФИ “Оценка антропогенной трансформации окружающей среды Тюменской области и ее социальных последствий в сфере воздействия нефтегазодобывающего комплекса”. Значительная часть исследований проведена в рамках проектных изысканий, имеющих целью оценку состояния окружающей природной среды на месторождениях нефти и газа и прогноз потенциальных последствий техногенного воздействия (ОВОС).

При определении микроэлементного состава почв и донных отложений использовались методы эмиссионного спектрального и атомно-абсорбционного анализов. Основной объем данных получен с применением спектрографа СТЭ-1 по методике спектрального анализа УСА-5 методом просыпки. Атомно-абсорбционный анализ проводился на спектрофотометре AAS Vario 6 (Analytik Jena), при этом для извлечения металлов использовался 5М раствор азотной кислоты в соответствии с методикой РД 52.18. 191–89. Результаты, полученные с использованием данной методики, которые современные химико-аналитические руководства относят к “условно-валовым” формам металлов, сопровождаются в тексте соответствующим разъяснением. Для оценки потенциальной

подвижности металлов также в качестве экстрагента использовался 1н раствор соляной кислоты.

При обработке результатов анализов данные о химическом составе почв и почвообразующих пород были сгруппированы в выборки по географическим районам, типам пород и почв. Также была проведена группировка по типам антропогенного воздействия в пределах локальных участков техногенеза (участки разведочных буровых работ, участки промышленной эксплуатации, селибные зоны, фоновые районы). Вычисление статистических показателей (среднего арифметического M , ошибки среднего m , медианы Me , стандартного отклонения SD , коэффициента вариации V , коэффициента корреляции r) проводилось с использованием программ Excel и Statistica-6.

Математическая обработка результатов включала в себя традиционное для геохимии ландшафтов вычисление различных показателей, характеризующих процессы аккумуляции и миграции вещества: кларков концентрации элементов (K_k), коэффициентов радиальной (K_p) и латеральной (K_λ) дифференциации, коэффициента накопления R_k (среднее из кларков концентрации элементов по отношению к кларку почв). Для участков техногенеза рассчитаны коэффициенты концентрации K_c (отношение содержания веществ в почвах на участках техногенеза к содержанию в фоновых условиях), суммарный показатель химического загрязнения Z_c , характеризующий степень химического загрязнения почв обследуемой территории вредными веществами различных классов опасности. Для оценки подвижности элементов были рассчитаны коэффициенты водной и местной водной миграции (K_x и K_{xm}), равные соответственно отношению содержания элемента в сухом остатке воды к кларку осадочных пород и среднему содержанию элемента в почвах водосборного бассейна.

Водные геосистемы рассматривались в качестве приоритетных объектов изучения и анализа экологической ситуации. Основой для регионального эколого-геохимического анализа послужили данные мониторинга гидросферы на территории ХМАО, выполняемого недропользователями на участках нефтедобычи, – результаты его собраны в единой информационной системе хранения и обработки данных. Основанием для мониторинга являются Закон ХМАО–Югры “Об охране окружающей природной среды и экологической защите населения автономного округа” (статья 27) и постановление правительства ХМАО–Югры № 302-П от 29.07.2003. В результате выполнения программы мониторинга на месторождениях ХМАО, уникальной по своим масштабам, к настоящему времени получен огромный объем данных, характеризующих экологическую ситуацию. Только для оценки нефтяного загрязнения ежегодно проводится анализ более 10 тыс. проб из 800 водных объектов. К сожалению, эта информация малодоступна для широких кругов экологической общественности. Отдельные материалы мониторинга были отражены нами ранее в обзорных работах, описывающих эколого-гидрохимические параметры водных объектов ХМАО [18, 143, 274]. Однако в

последнее трехлетие объем информации существенно возрос, были уточнены многие факторы, влияющие на качество работ, унифицированы подходы к выполнению анализов различными химико-аналитическими лабораториями.

Период наблюдений охватывает 1993–2011 гг. Для диагностики состояния и оценки качества вод обрабатывались временные ряды гидрохимических данных, полученные в фиксированных точках пространства. Лабораторный анализ проб проводился по методикам, внесенным в Государственный реестр методик количественного химического анализа и позволяющим получать объективные и сопоставимые данные о состоянии окружающей среды. Все анализы проводились в аккредитованных лабораториях по методикам, соответствующим госстандартам или иным нормативно-методическим документам. Для каждого объекта исследований (отдельный водный источник или совокупность водных объектов месторождения) анализировались временные ряды в виде хронологических последовательностей среднемесячных и среднегодовых величин. В качестве экологических нормативов использованы предельно-допустимые концентрации для водоемов рыбохозяйственного использования ($ПДК_{вр}$). Для выявления динамики проведено сопоставление с результатами, полученными в предшествующие годы наблюдений, а также с данными литературных источников, охватывающими различные периоды, начиная с 1960-х гг.

Думается, что представленные в настоящей книге результаты будут полезны исследователям, занимающимся оценкой и мониторингом состояния окружающей природной среды на месторождениях нефти и газа Тюменского Севера, обоснованием систем рационального природопользования.

Список сокращений

- АПАВ – анионогенные поверхностно-активные вещества
- БИК – биологический круговорот
- БПК – биологическое потребление кислорода
- ГКМ – газоконденсатное месторождение
- ДНС – дожимная насосная станция
- ЕКО – емкость катионного обмена
- ЛУ – лицензионный участок
- ММП – многолетнемерзлые породы
- НУВ – нефтяные углеводороды
- ОВОС – оценка воздействия на окружающую среду
- ОДК – ориентировочно-допустимая концентрация
- ПАУ – полициклические ароматические углеводороды
- ПДК – предельно-допустимая концентрация
- ПТК – природно-территориальный комплекс
- СПО – сумма поглощенных оснований
- УКПГ – установка комплексной подготовки газа
- ХМАО – Ханты-Мансийский автономный округ
- ХПК – химическое потребление кислорода
- ЯНАО – Ямало-Ненецкий автономный округ

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД

Формирование структуры открытых динамических систем является результатом процесса самоорганизации. Самоорганизация ландшафтно-геохимических систем – это длительный структурообразующий процесс дифференциации вещества. Под ландшафтно-геохимической структурой понимается чередование зон выщелачивания и обогащения, их соотношение в пространстве, вещественный состав, форма и размеры [58]. Таким образом, самоорганизация выражается в формировании пространственных структур, обладающих различными химическими характеристиками.

Геохимическая неоднородность ландшафтной сферы обусловлена комплексов литологических, геоморфологических, климатических, биотических и гидрологических факторов – составом и свойствами четвертичных отложений, биоклиматическими показателями, особенностями рельефа и водопроницаемости пород. Таким образом, геохимическая структура является закономерным полигенетическим сочетанием иерархически соподчиненных природных комплексов различной размерности, отличающихся качественным своеобразием химического состава и характером протекающих в них процессов геометаболизма. В значительной степени геохимические особенности ландшафта определяются почвообразующими породами. Состав пород оказывает сильное влияние на все составляющие почвообразовательного процесса почв Западной Сибири [71, 219]. Породы, непосредственно влияющие на формирование почвенного покрова тундровой и таежной зон Западной Сибири, относятся по генезису к осадочным четвертичным образованиям. Только в районе Полярного и Приполярного Урала близко к поверхности залегают более древние метаморфические отложения, а почвообразование проходит на элювиальных, делювиальных и коллювиальных (обвально-осыпных) породах.

Вопрос о генезисе покровных отложений северной части Западно-Сибирской равнины, несмотря на значительное число исследований, остается до настоящего времени дискуссионным. Существует несколько точек зрения на историю развития ландшафтов в четвертичном периоде. Даже беглый анализ картографических построений, характеризующих основные типы четвертичных отложений региона [16, 17, 96], свидетельствует о крайне неоднозначной интерпретации генезиса пород и их стратиграфического расчленения. По мнению ряда авторов [110, 176], на формирование рельефа и строение толщи четвертичных отложений влияли морские трансгрессии, достигавшие Сибирских Увалов; наличие континентального покровного оледенения отрицается, а происхождение валунных отложений объясняется переносом плавающими

льдами [67]. О морском генезисе рельефообразующих плейстоценовых отложений северного и центрального Ямала свидетельствуют многочисленные находки бореально-арктических фораминифер и раковин моллюсков, морской характер засоления пород по всему разрезу и отсутствие ярко выраженных следов экзарационной деятельности ледников, гляциальные же и постгляциальные отложения распространены локально в южной части полуострова и связаны с оледенениями в периферийных зонах Полярного палеобассейна [65]. Подчеркивалось, что огромный фактический материал, накопленный за последние четыре десятилетия, свидетельствует о водном происхождении основных горизонтов, содержащих обломочный материал четвертичных отложений севера Западной Сибири [232].

Согласно другой точке зрения, в четвертичный период на севере Западной Сибири морские трансгрессии чередовались с покровными оледенениями, в результате чего сформировались соответствующие формы рельефа и толща ледниковых отложений. Утверждалось, что главной причиной формирования холмистых гряд и плоских равнин Ямала является движение покровных ледников с шельфа Ледовитого океана [14, 66]. Краевой зоной максимального оледенения считаются возвышенности Сибирских Увалов [12, 84].

Обсуждение существующих теорий не входит в число задач нашей работы. При оценке генезиса почвообразующих пород мы руководствовались Картой четвертичных отложений СССР масштаба 1:2 500 000 [96]. Согласно этому источнику, по особенностям осадконакопления в тундровой и лесотундровой зонах Западной Сибири (Ямал, Гыдан, Тазовский п-ов) преобладают морские отложения. Таежная зона отчетливо подразделяется на три крупные области:

- 1) область преимущественно ледниковых отложений (к северу от Сибирских Увалов);
- 2) область преимущественно приледниковой аккумуляции с господством флювиогляциальных отложений (территория приуральских и частично – центральных районов к северу от широтного отрезка Оби);
- 3) внеледниковая область озерно-аллювиальных отложений (территория Обь-Иртышского междуречья).

Микроэлементный состав почвообразующих пород северной части Западно-Сибирской низменности исследуется непродолжительный период времени. Первое обобщение было сделано В.Я. Хреновым [240], установившим значительные различия в составе песчаных и суглинистых пород; сравнение, выполненное путем расчетов кларков концентрации, показало, что содержание микроэлементов в почвообразующих породах севера Тюменской области по сравнению с кларками в осадочных породах (глины и сланцы) находится на довольно низком уровне, кроме циркония и титана. Для песчаных пород сопоставление с кларком песчаников выявило повышенное содержание Cr, V, Zn, Sr, Ni, Cu, Co и пониженное в 2,3–8 раз – остальных микроэлементов.

Детальный анализ микроэлементного состава почвообразующих пород Западной Сибири был сделан А.И. Сысо [218, 219], который вы-

явил связь между составами пород равнинных территорий и горного обрамления, установил основные закономерности пространственной и профильной неоднородности распределения элементов. Однако северная часть Западной Сибири осталась малоисследованной.

Нами был проведен детальный анализ микроэлементного состава почвообразующих пород п-ова Ямал и выявлены следующие основные закономерности [137, 138, 180]:

- северная часть полуострова, сложенная морскими отложениями, характеризуется высоким содержанием в суглинистых породах Ti, Cr, Zr, Co и сниженными, относительно кларка литосферы, концентрациями V, Be, Li, Mo, Cu, Zn;
- наиболее богатый микроэлементный состав отмечен в суглинистых морских породах Бованенковского месторождения (западная часть полуострова), где выявлены повышенные, относительно кларка литосферы, концентрации большой группы микроэлементов: Mn, V, Ti, Cr, Ni, Co, Cu, Nb, Pb;
- беден микроэлементный состав песчаных отложений прибрежных участков (Харасавэйское месторождение, район мыса Каменный и пос. Новый Порт), что объясняется абсолютным преобладанием в минеральной части кварцевого песка (содержание его достигает 90–95 %);
- толща четвертичных отложений до глубины 35–40 м относительно слабо дифференцирована по микроэлементному составу, в верхней части отложений зафиксировано повышение концентрации марганца и цинка за счет приноса вещества из вышележащих органогенных почвенных горизонтов, в нижней части разреза несколько повышаются содержания Li, Ni, Ti, V.

Сходные выводы о микроэлементном составе пород Ямала были сделаны другими авторами, выявившими повышенные концентрации хрома, кобальта и никеля в поверхностных отложениях [120].

Очевидно, что состав пород, их гранулометрический и минералогический составы зависят от источников поступления твердого материала. Вместе с тем неоднозначность трактовки четвертичной истории региона из-за разнообразия форм осадконакопления затрудняет анализ литогеохимических закономерностей. Минералогический состав пород часто связывают с источниками поступления вещества, в качестве которых рассматривают возвышенности Таймыра, Среднесибирского плоскогорья, Урала и Новой Земли [218]. По мнению ряда авторов, правобережье Пура относится к амфибол-эпидот-пироксеновой терригенно-минералогической провинции, отражающей петрографический состав области сноса – Таймырского п-ова и Среднесибирского плоскогорья, а левобережье, включая Тазовский п-ов, юг Ямала и нижнее Приобье, – к пироксен-амфибол-эпидотовой провинции, отражающей состав пород Урала, Таймыра и Среднесибирского плоскогорья и содержащей материалы более древних переотложенных пород [218]. Для четвертичных отложений п-ова Ямал характерны абсолютное доминирование кварцевого песка в породах легкого механического состава и присутствие в незначительном количестве пироксена, эпидота и лимонита.

нита; в составе пород тяжелого механического состава глинистая фракция имеет полиминеральный состав, включающий гидрослюды, хлорит, монтмориллонит, каолинит, гидроокислы железа [176].

Изучение микроэлементного состава способно в определенной степени дать аргументацию для выводов об источниках поступления материала осадочных пород и их генезисе. Опираясь на данные собственных исследований, рассмотрим особенности формирования состава верхней толщи четвертичных отложений. Опробование почвообразующих пород было проведено на 11 ключевых участках (рис. 1.1), различающихся по географическому положению и генезису пород. Пробы были отобраны из почвообразующих и почвоподстилающих пород с глубин 0,8–1,5 м, за исключением серии проб, отобранных из скважины инженерно-геологического бурения, с глубин до 40 м.

Почвообразующие породы Малыгинского месторождения (1), расположенного в северной части полуострова, представлены главным об-

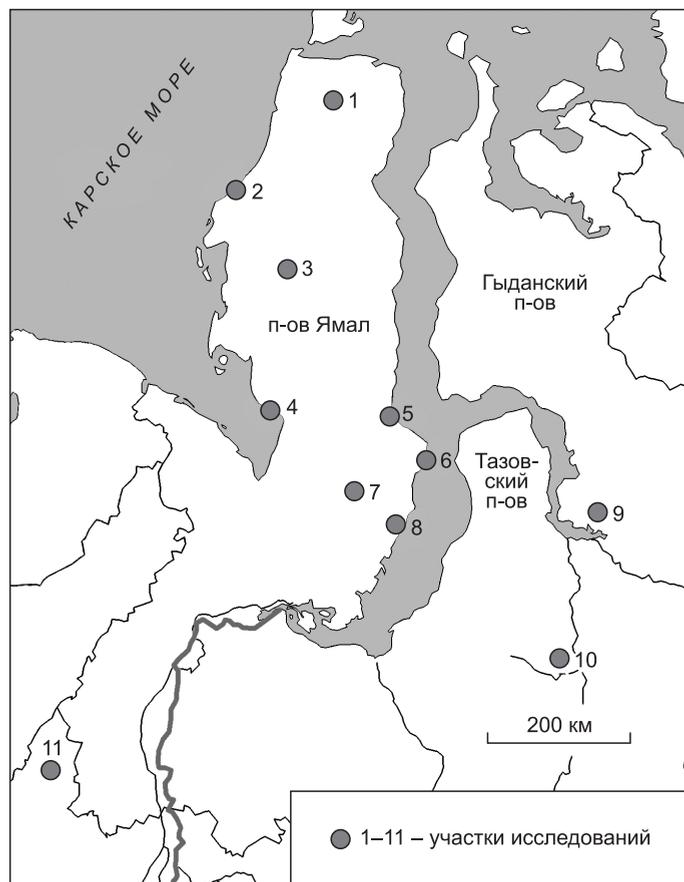


Рис. 1.1. Схема опробования почвообразующих пород (характеристика участков приведена в тексте)

разом верхнеплейстоценовыми морскими отложениями третьей террасы. Механический состав отложений преимущественно легкий. Это пески и супеси, местами с прослоями суглинков. По сравнению с более южными районами, четвертичные отложения северной части Ямала отличаются повышенным содержанием водорастворимых солей и карбонатов [176].

На территории Харасавэйского месторождения (2) изучены отложения первой и второй морских террас, современные отложения морской лайды. Данные отложения, по механическому составу главным образом супесчаные и песчаные, имеют высокие содержания водорастворимых солей и карбонатов. На территории Бованенковского месторождения (3) состав почвообразующих пород более разнообразен. По геолого-геоморфологическим особенностям здесь выделяется несколько структур, представляющих собой последовательные абразионно-аккумулятивные морские террасы, сложенные плейстоценовыми породами морского генезиса. Также широко представлены голоценовые аллювиальные, озерно-болотные и болотные отложения.

Район Байдарацкой губы (4) – это комплекс морских плейстоценовых террас (преимущественно третьей и второй). В отложениях обнаруживается переслаивание песчаных и супесчано-суглинистых пород, вдоль побережья наблюдается полоса опесчаненных отложений [50]. Участки низовий р. Нурмаяха (5) и пос. Мыс Каменный (6) сложены песчаными голоценовыми породами аллювиально-морского (дельтово-лагунного) происхождения. Район оз. Ярото (7) сложен мощной толщей песчаных отложений, генезис которых трактуется неоднозначно: как ледниковые [96], как морские и ледниково-морские [16] либо как аллювиально-морские отложения третьей и четвертой террас [17]. В районе пос. Новый Порт (8) нами были опробованы как суглинистые, так и песчаные отложения, которые относят к аллювиально-морским верхнеплейстоценовым террасам [17, 96]. Присутствие глинистых и суглинистых пород при этом объясняют выносом водами пра-Оби взвешенного пылевато-глинистого материала и осаждением его в передовой части лагуны [50]. Юго-западная часть Гыданского п-ова, в низовьях р. Мессояха (9), представляет собой пологоволнистую ступенчатую равнину, сложенную аллювиально-морскими верхнеплейстоценовыми песчаными отложениями. В лесотундре, на территории Уренгойского и Еваяхинского месторождений (10), нами были опробованы озерно-аллювиальные отложения [16, 17, 96]. По механическому составу это крупно- и среднезернистые пески, иногда с прослоями органического материала. Отложения Приполярного Урала (11) были обследованы в верховьях р. Хулга. Район исследований представляет собой сочетание низкогорий с господством элювиально-делювиальных, делювиально-солифлюкционных, коллювиальных (осыпных) четвертичных отложений и предгорий с доминированием отложений ледникового генезиса [96].

Анализ полученных результатов свидетельствует о значительной вариабельности микроэлементного состава почвообразующих пород даже в пределах локальных участков. Коэффициенты вариации, расчи-

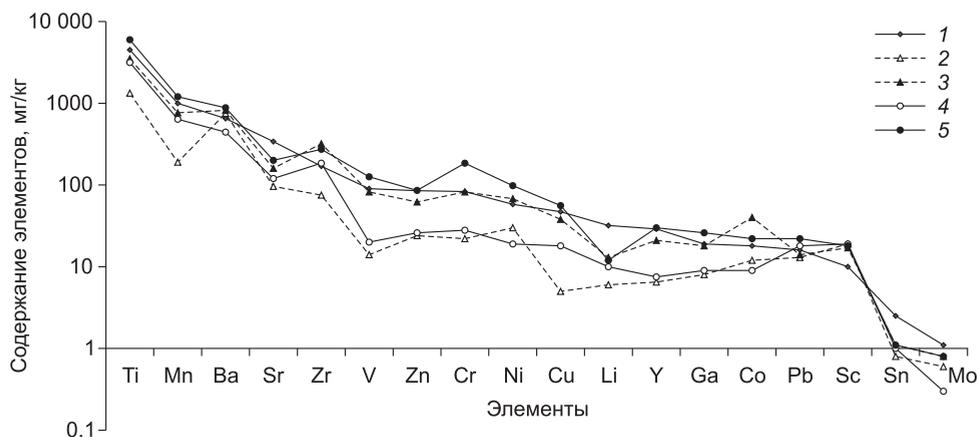


Рис. 1.2. Микроэлементный состав почвообразующих пород п-ова Ямал (Харасавэйское и Бованенковское месторождения):

1 – кларк литосферы [37]; Харасавэйское месторождение: 2 – пески, 3 – суглинки; Бованенковское месторождение: 4 – пески, 5 – суглинки

таные для отдельных микроэлементов, изменяются от 38 до 85 %. Графическое отображение микроэлементного состава пород в виде геохимических спектров дает наглядную картину зависимости его от механического состава, причем разделение особенно значимо для таких элементов, как никель, медь, ванадий, хром, цинк, кобальт (рис. 1.2). Применение соответствующих статистических методик для выявления достоверных различий между сериями наблюдений [111] показало, что различия между породами по их механическому составу более весомы, чем различия между пространственно разобщенными участками. Песчаные породы по сравнению с суглинистыми и глинистыми характеризуются низкими концентрациями практически всех микроэлементов и объединяются в отдельный кластер.

Таким образом, объективное определение литогеохимических особенностей требует разделения обследованных объектов по гранулометрическому составу горных пород. Данные о микроэлементном составе песчаных почвообразующих пород обследованных участков представлены в табл. 1.1. Наиболее бедным составом характеризуются озерно-аллювиальные верхнечетвертичные отложения ($1aQ_3^{1-2}$) левобережья р. Пур в южной части Уренгойского месторождения, где содержание большинства микроэлементов значительно ниже кларка песчаников. Сходные результаты были получены и другими исследователями, выявившими факт обедненности почв Ново-Уренгойского и Восточно-Уренгойского месторождений такими микроэлементами, как Ti, Sc, Ga, Mn, Co, Pb, Cu, Sr, Ni, Zn, Zr, Y и особенно Ag, что объясняется свойствами подстилающих горных пород [10].

Особенности микроэлементного состава отложений связаны с абсолютным преобладанием в минералогическом составе кварцевого песка

Таблица 1.1

Содержание микроэлементов, мг/кг, в песчаных почвообразующих породах северной части Западной Сибири (n = 3–26)

Участок, преобладающий тип отложений	Элемент									
	Mn	Ti	Cr	Ba	Sr	Ni	Co	Cu	Zn	Pb
1. Малыгинское место-рождение (mQ_3^{2-3})	556	2340	56	367	127	18	7,8	12	27	10
2. Харасавэйское место-рождение (mQ_3^4, mQ_4)	190	1330	22	754	96	30	12	5,0	24	13
3. Бованенковское место-рождение (mQ_3^{2-3}, mQ_3^1)	638	3150	28	443	120	19	9,0	18	26	18
4. Байдарацкая губа (mQ_3^{2-3})	270	–	39	–	–	26	9,6	5,5	18	7,9
5. Низовья р. Нурмаяха (amQ_3^4)	240	–	33	–	–	8,3	4,3	4	17	6,6
6. Мыс Каменный (amQ_3^4, amQ_4)	240	1060	41	400	–	13	5,0	16	24	9,4
7. Ярото ($amQ_3^1, m, mgI Q_2^{2-4}$)	617	3500	33	333	150	27	7,7	16	35	8,3
8. Новый Порт (amQ_3^{1-2})	185	950	37	450	100	13	2,3	14	23	10
9. Юг Гыданского п-ова (amQ_3^{1-2})	404	–	24	–	–	5,6	4,8	4,6	6,7	8,4
10. Уренгойское место-рождение (laQ_3^{1-2})	60	–	22,5	–	–	2,8	1,9	3,9	4,0	4,6
11. Приполярный Урал (gQ_3^2)	910	–	89	–	–	24	19	9,0	58	15
Кларк песчаников по Turekian & Vedepohl [216]	N*1	1500	35	10N	20	20	0,3	N*1	16	7

Примечание. Прочерк – содержание элемента не определялось.

и со значительной удаленностью рассматриваемой территории от областей сноса терригенного материала, что сопровождается обеднением пород легкоразрушаемыми минералами (пироксенами, амфиболами). В дальних районах аккумуляции в осадочных отложениях снижается количество устойчивых к выветриванию и транспортировке тяжелых минералов, в песчаных фракциях увеличивается доля устойчивых к выветриванию первичных минералов (кварц, циркон, турмалин) [218]. Выносу элементов в растворенной и твердой формах способствует промывной режим почв, а увеличение подвижности элементов возрастает в условиях глубокого проникновения органических кислот в толщу песчаных пород.

Отобранные в предгорьях Приполярного Урала ледниковые отложения (gQ_3^2) отличаются повышенным, относительно других участков, содержанием большинства микроэлементов, за исключением никеля, которого больше в морских отложениях прибрежной части Ямала, и свинца,

концентрации которого достигают максимальных значений в породах Бованенковского месторождения. Богатый микроэлементный состав пород Урала подтверждается наличием значительного количества месторождений рудных полезных ископаемых, среди которых выделяются медно-никелевые, свинцово-цинковые, молибденовые, хромовые, марганцевые [17]. Повышенные концентрации хрома в отложениях Полярного Урала отмечались ранее [38]. Характерно, что в предшествующих исследованиях на Северном Урале [129] отмечены концентрации меди, цинка и свинца, практически тождественные нашим данным, а повышенные концентрации, превышающие кларк, выявлены для железа, магния, хрома, никеля, кобальта.

При сопоставлении с кларком песчаных осадочных пород (см. табл. 1.1) очевиден вывод о повышенном содержании в почвообразующих породах тундровой зоны Западной Сибири марганца, меди, бария, стронция и кобальта. Отложения морского генезиса характеризуются повышенным содержанием цинка. В распределении марганца наблюдаются значительные пространственные различия. Наиболее богаты марганцем отложения в районе оз. Ярото (п-ов Ямал) и отложения Приполярного Урала, крайне мала концентрация марганца в озерно-аллювиальных отложениях левобережья Пура, в районе Уренгойского месторождения.

По результатам кластерного анализа, отображенных на рис. 1.3, очевидно, что почвообразующие породы Приполярного Урала резко отличаются от пород остальных территорий. Числовые показатели кластеризации свидетельствуют о выделении двух групп. В первый кластер входят участки, расположенные в центральной части Ямала – Малыгин-

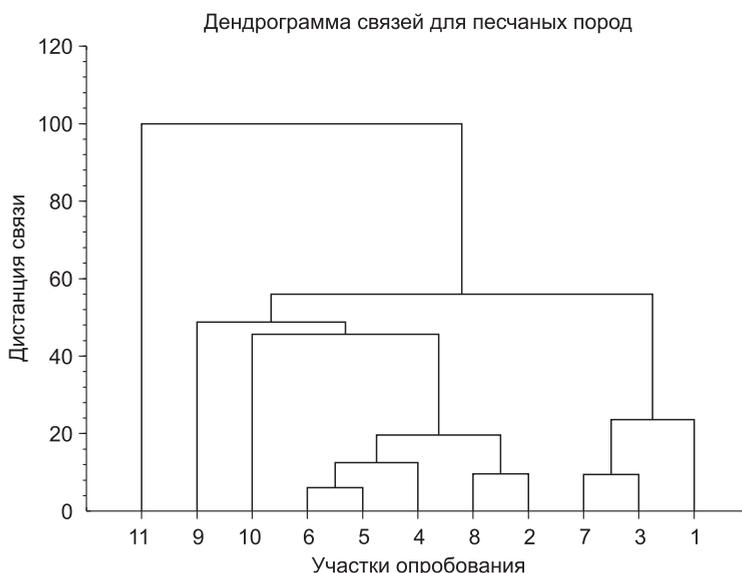


Рис. 1.3. Дендрограмма сходства песчаных почвообразующих пород тундровой зоны Западной Сибири по микроэлементному составу

ское, Бованенковское месторождения, район оз. Ярото, а также, со значительным удалением от центра кластеризации, Приполярный Урал. Второй кластер объединяет прибрежные участки Ямала, южную часть Гыданского п-ова и Уренгойское месторождение. Наиболее тесная связь обнаруживается между близкорасположенными участками Нурма–Мыс Каменный, что свидетельствует о едином генезисе пород этих двух территорий. Обращает на себя внимание сходство двух разобщенных участков, расположенных на северо-западном и юго-восточном побережьях Ямала (2 и 8). Результаты кластерного анализа ставят вопрос о причинах, вызвавших сходство микроэлементного состава: является ли это результатом общего генезиса либо свидетельствует о сходном характере гипергенных процессов. В связи с этим целесообразно воспользоваться широко применяемым методом индикации условий формирования осадочных толщ по соотношениям некоторых микроэлементов.

Соотношения стронция и бария свидетельствуют о степени увлажненности и дренажа пород, а также об условиях осадконакопления. Поскольку коэффициент водной миграции стронция значительно выше, чем у бария, то чем влажнее климат, тем больше выносятся стронция из пород. Согласно А.П. Виноградову [36], соотношение Sr/Ba меняется от 1 в почвах степей до 0,1 в подзолах. Подобная ситуация может наблюдаться при переносе и переотложении материала осадочных пород водами [218]. В пресноводных осадках отношение Sr/Ba меньше 1, а в морских – больше 1 [2].

Анализ полученных результатов (табл. 1.2) свидетельствует, что соотношение Sr/Ba в песчаных почвообразующих породах Ямала увели-

Таблица 1.2

**Соотношение микроэлементов
в песчаных почвообразующих породах тундр Западной Сибири**

Участок	Тип отложений	Zr/Ti	Sr/Ba	Mn/Fe
1	mQ_3^{2-3}	0,10	0,34	–
2	mQ_3^4, mQ_4	0,06	0,13	0,052
3	mQ_3^{2-3}, mQ_3^1	0,06	0,27	0,041
5	mQ_3^{2-3}, mQ_3^1	–	–	0,028
6	amQ_3^4, amQ_4	0,07	–	0,031
7	$amQ_3^1, m, mglQ_2^{2-4}$	0,08	0,45	–
8	amQ_3^{1-2}	0,07	0,22	–
9	amQ_3^{1-2}	–	–	0,025
10	laQ_3^{1-2}	–	–	0,017
11	gQ_3^2	–	–	0,022

Примечание. Прочерк – содержание элементов не определялось.

чивается по мере удаления от побережья. Самые низкие показатели на уровне 0,13–0,19 отмечены в породах Харасавэйского месторождения (северо-западная часть Ямала), участков в районе поселков Мыс Каменный и Новый Порт. Участки с морскими отложениями Малыгинского месторождения характеризуются соотношением на уровне 0,34, а максимальные значения характерны для отложений в центральном Ямале, в районе оз. Ярото. Таким образом, минимальными отношениями Sr/Ba отличаются прибрежные участки, а максимальными – центральные районы Ямала. При сопоставлении с климатическими показателями очевидно, что фактор увлажнения играет доминирующую роль, поскольку тенденция изменения соотношения Sr/Ba соответствует распределению влаги по территории полуострова, в частности, коррелирует с величиной запаса воды в снежном покрове: чем меньше запас, тем выше соотношение Sr/Ba. Таким образом, основным фактором, определяющим соотношение этих элементов в верхней толще четвертичных отложений, следует признать увлажненность и степень дренированности территории. Величина соотношения Sr/Ba свидетельствуют о значительной переработке пород гипергенными процессами с последующим выносом грунтовыми водами.

Отношение Mn /Fe в породах континентов ниже, чем в океане, в океанических глинах оно достигает 0,071 [Юдович, 2000, цит. по 218], поэтому данные о содержании этих элементов можно использовать в палеореконструкциях. Полученные нами результаты подтверждают снижение соотношения Mn/Fe в континентальных отложениях. Наименьшее значение отмечено в породах Уренгойского месторождения, которые относят к озерно-аллювиальным [96], максимальное – в морских отложениях прибрежной части северо-западного Ямала (Харасавэйское месторождение). В аллювиально-морских отложениях восточного Ямала и Гыдана (участки опробования 5, 6 и 9) соотношение Mn/Fe составляет 0,025–0,031 и не достигает величин, типичных для осадков океанического генезиса, что свидетельствует как о слабом влиянии засоленных морских вод на палеогеографические условия, определяемые влиянием устьевой части пра-Оби, так и о длительной наземной стадии эволюционирования.

Отношение Zr/Ti свидетельствует о возрасте отложений, поскольку минералы, обогащенные титаном (пироксены, амфиболы), относительно быстро разрушаются при миграции и седиментации [Bhatia, Crook, 1986, цит. по: 218]. Проведенные подсчеты показали максимальный возраст песчаных отложений третьей морской террасы на севере Ямала (Харасавэйское месторождение), различия между остальными типами отложений относительно невелики.

Почвообразующие породы тяжелого механического состава характеризуются более богатым по сравнению с песчаными породами микроэлементным составом, особенно морские отложения Бованенковского месторождения (табл. 1.3).

При сопоставлении с кларками глинистых пород обращает на себя внимание высокое содержание бария, который является относительно

Таблица 1.3

Содержание микроэлементов, мг/кг, в суглинистых почвообразующих породах северной части Западной Сибири (n = 4-32)

Участок, преобладающий тип отложений	Элемент									
	Mn	Ti	Cr	Ba	Sr	Ni	Co	Cu	Zn	Pb
1. Малыгинское месторождение (mQ_3^{2-3})	825	5070	95	500	184	39	19	21	47	13
2. Харасавэй (mQ_3^4, mQ_4)	766	3500	82	820	160	68	40	38	62	14
3. Бованенковское месторождение (mQ_3^{2-3}, mQ_3^1)	1200	6000	185	880	200	98	22	56	86	22
4. Байдарацкая губа (mQ_3^{2-3})	460	4400	62	960	144	26	6,4	13	20	11
5. Нурма (amQ_3^4)	319	-	65	-	-	24	9,8	9,2	38	6
8. Новый Порт (amQ_3^{1-2})	700	4500	57	750	133	28	15	18	30	10
9. Юг Гыданского п-ова (amQ_3^{1-2})	673	-	100	-	-	37	2,2	3,2	7,4	12
11. Приполярный Урал (gQ_3^2)	970	-	135	-	-	50	21	42	98	15
Кларк глин: по А.П. Виноградову	670	4500	100	800	450	95	20	57	80	20
по Turekian & Vedepohl [216]	850	4600	90	580	300	68	19	45	95	20

стабильным микроэлементом в составе минералов. Повсеместно понижено, относительно кларка, содержание свинца. В распределении остальных микроэлементов наблюдаются значительные пространственные различия. Максимальное содержание марганца, титана, хрома, бария, стронция, никеля, меди отмечено в породах морского генезиса в пределах Бованенковского месторождения. Наиболее богаты цинком и свинцом отложения Приполярного Урала, бедный микроэлементный состав выявлен в породах южной части Гыданского п-ова.

Результаты кластерного анализа (рис. 1.4) свидетельствуют, что эвклидовы расстояния для суглинистых пород значительно больше, чем у песчаных, следовательно, сходство пространственно разобобщенных участков у пород суглинистого состава выражено гораздо слабее.

В отдельный кластер выделяются породы Бованенковского месторождения (участок 3), значительно отличающиеся по своему составу от пород других районов Ямала. Относительно близки по составу пород участки 8 и 9 (восточная часть Ямала и юг Гыданского п-ова) несмотря на различия в местоположении, что может быть подтверждением общего генезиса пород. Соотношения микроэлементов, раскрывающие особенности формирования и условия гипергенных процессов для суглинистых пород, представлены в табл. 1.4.

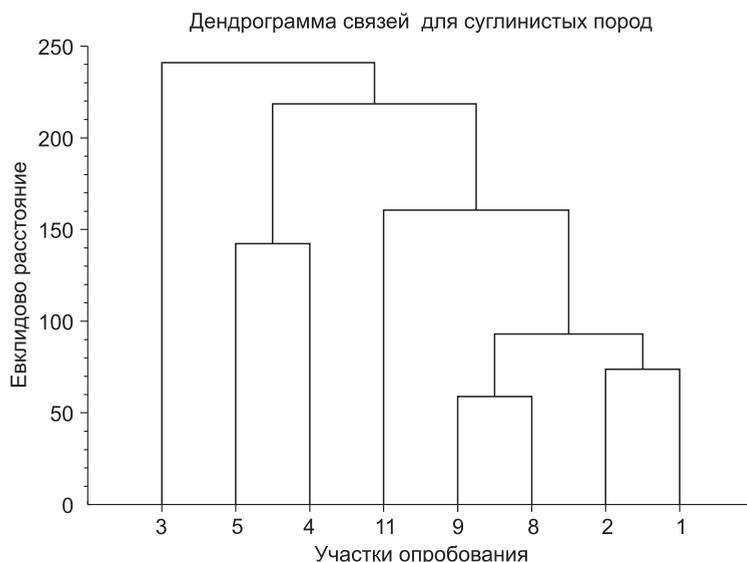


Рис. 1.4. Сходство почвообразующих пород тяжелого механического состава тундровой зоны Западной Сибири по содержанию микроэлементов

Таблица 1.4

Соотношение микроэлементов в суглинистых почвообразующих породах тундр Западной Сибири

Участок	Тип отложений	Zr/Ti	Sr/Ba	Mn/Fe
1	mQ_3^{2-3}	0,05	0,37	–
2	mQ_3^4, mQ_4	0,08	0,19	0,034
3	mQ_3^{2-3}, mQ_3^1	0,05	0,23	0,042
4	mQ_3^{2-3}	0,11	0,15	–
5	amQ_3^4	–	–	0,019
8	amQ_3^{1-2}	0,09	0,18	–
9	amQ_3^{1-2}	–	–	0,014
11	gQ_3^2	–	–	0,021

Примечание. Прочерк – содержание элементов не определялось.

Отношение Zr/Ti изменяется в пределах 0,05–0,11, что вместе с повышенным содержанием Ti говорит о слабом преобразовании. Это является следствием заторможенности процессов гипергенеза, связанной со слабым химическим выветриванием в мерзлых грунтах. Соотношение Sr/Ba, как и у песчаных пород, достигает максимальных величин в северной части Ямала, где преобразование пород проходило в условиях

наибольшего переувлажнения. Расчет соотношения марганца и железа дает очевидное свидетельство морского генезиса отложений Бованенковского и Харасавэйского месторождений и говорит о слабом влиянии морских осадков в восточной части Ямала, где четвертичные отложения, относимые к аллювиально-морским, формировались под влиянием пресных вод нижнего течения пра-Оби.

Таким образом, результаты микроэлементного анализа почвообразующих пород северной части Западной Сибири свидетельствуют о формировании пород в результате гетерогенных и гетерохронных процессов: морского, аллювиально-морского, озерно-аллювиального седиментогенеза с дальнейшей эпигенетической переработкой, что нашло свое выражение в значительной пространственной неоднородности химического состава, более выраженной у суглинистых пород. Характерным свойством является значительное различие микроэлементного состава песчаных и суглинистых пород. Содержание микроэлементов в песчаных породах в среднем в 1,3–3 раза меньше, чем в суглинистых. Наиболее существенные различия характерны для никеля, кобальта, меди, но относительно невелики у свинца. Максимальные концентрации большинства микроэлементов выявлены в морских породах Бованенковского месторождения и в отложениях Приполярного Урала, минимальные – в озерно-аллювиальных отложениях южной части Уренгойского месторождения. По сравнению с кларками суглинистые породы характеризуются сниженным содержанием свинца, цинка и стронция. Содержание марганца, титана, хрома в большинстве обследованных пород близко к среднемировым показателям. В распределении марганца, кобальта и никеля наблюдаются значительные пространственные различия: наряду с зонами аккумуляции существуют и зоны рассеяния, свойственные отложениям озерно-аллювиального генезиса. Породы легкого механического состава, несмотря на то что абсолютные концентрации микроэлементов в них значительно ниже, чем в суглинках и глинах, по сравнению с кларками песчаников отличаются довольно высоким содержанием марганца, титана, бария, стронция, кобальта, меди и свинца. Это является свидетельством значительной доли тяжелой фракции в породах. Породы центральной, более возвышенной, части Ямала характеризуются более высокими отношениями Sr/Ba по сравнению с приморскими участками, что говорит о меньшей степени увлажнения и дренированности. Это соответствует положению о зависимости химического состава коры выветривания от геоморфологических условий [177].

В таежной зоне микроэлементный состав почвообразующих пород изучался на территории Сибирских Увалов, Сургутской низменности, Обь-Иртышского междуречья, в пойменных и надпойменных ландшафтах рек Обь и Иртыш. Обобщение полученных результатов представлено в табл. 1.5.

При сравнении полученных значений с кларковыми показателями выявлен ряд особенностей, характеризующих региональный литогеохи-

Таблица 1.5

**Содержание микроэлементов в почвообразующих породах
Тюменской области, мг/кг**

Элемент	Тип пород										Кларк литосферы [37]
	1		2		3		4		5		
	<i>M</i>	<i>V, %</i>	<i>M</i>	<i>V, %</i>	<i>M</i>	<i>V, %</i>	<i>M</i>	<i>V, %</i>	<i>M</i>	<i>V, %</i>	
Mn	1750	40,1	443	55,1	823	49,0	1764	50,6	2070	52,7	1000
V	125	13,5	22,9	82,4	35	88,2	67	55,1	69	65,8	90
Ti	9000	23,7	3942	67,7	3324	50,7	6348	52,8	6860	46,8	450
Cr	94	29,6	50	38,1	223	71,7	72	45,0	64	48,4	83
Zr	204	51,4	454	73,4	359	39,5	338	72,2	415	77,9	170
Y	48	46,1	30	38,5	19	86,5	37	59,1	47	86,9	–
Ba	*	–	*	–	*	–	220	49,1	215	97,8	650
Sr	175	40,4	*	–	*	–	*	–	*	–	340
Li	46	16,1	*	–	9,7	75,8	27	97,2	29	68,1	32
Ni	41	15,5	15	48,3	183	84,1	29	40,8	27	43,6	58
Co	15	47,1	5,0	52,2	9,0	48,6	9,1	51,1	9,0	51,6	18
Mo	0,76	84,7	*		3,2	71,6	0,7	84,8	0,6	95,8	1,1
Cu	25	30,2	17	47,2	26	89,6	18	31,6	18	35,5	47
Zn	85	47,5	27	80,1	39	83,4	44	76,9	39	86,4	85
Pb	16	21,3	13	50,6	12	62,3	12	32,7	13	35,9	16
Sn	2,4	25,6	0,8	37,1	0,82	70,2	1,4	51,3	1,5	61,1	2,5
Ag	0,07	23,8	*	–	*	–	0,03	85,3	0,03	82,4	–
<i>n</i>	18		16		17		25		20		

Примечание. 1 – ледниковые отложения Самаровского оледенения, возвышенность Белогорский Материк; 2 – ледниковые и флювиогляциальные отложения, Сибирские Увалы; 3 – озерно-аллювиальные отложения, Обь-Иртышское и Тобол-Иртышское междуречья; 4 – плейстоценовые аллювиальные отложения надпойменных террас, нижнее течение Тобола, Иртыша; 5 – современные аллювиальные отложения.

* Элемент обнаружен менее чем в 50 % проб; прочерк – содержание элемента ниже порога обнаружения.

мический фон. Выделяются две группы элементов: содержание халькофильных (Cu, Zn, Pb) понижено по отношению к кларку, а сидерофильных (Ti, V, Cr, Ni, Co), напротив, повышено. Ледниковые и аллювиальные отложения различного возраста отличаются повышенным содержанием марганца. Содержание титана в ледниковых отложениях вдвое превышает кларк. Отмечено повсеместное обогащение почв цирконием, максимальное количество которого выявлено в современных аллювиальных отложениях. Соотношение циркония и титана максимально для ледниковых отложений возвышенности Белогорский Материк, что свидетельствует о наиболее слабой гипергенной трансформации пород в этом районе по сравнению с другими участками. Повышенное содержание

никеля отмечено в озерно-аллювиальных отложениях Обь-Иртышского междуречья. Концентрация меди стабильно снижена по отношению к кларку в 2–2,5 раза. Содержание цинка в ледниковых отложениях близко к кларку, а в озерно-аллювиальных и аллювиальных – в 1,9–2,2 раза ниже. Околокларковыми показателями характеризуется содержание свинца.

По сравнению с усредненными показателями состава почвообразующих пород Западно-Сибирской равнины [218, 219], полученными преимущественно в южной части региона, почвообразующие породы таежной зоны Тюменской области отличаются повышенными концентрациями марганца и титана. Незначительно ниже средних величин содержание меди и олова, а содержание цинка ниже среднерегionalных показателей приблизительно в 1,5 раза (за исключением суглинистых пород ледникового генезиса). Содержание микроэлементов в породах в значительной степени зависит от их гранулометрического состава. Территории, литогенная основа ландшафтов которых представлена песчаными водно-ледниковыми и аллювиальными отложениями (к ним относятся район Сибирских Увалов, верховья Агана и Ваха, междуречья Конды и Сосьвы, Надыма и Пура), отличаются недостатком большинства микроэлементов, что определяет неблагоприятную биогеохимическую ситуацию.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАНДШАФТОВ ТУНДРОВОЙ ЗОНЫ

2.1. Условия формирования ландшафтно-геохимической структуры

Ландшафтно-геохимическая структура складывается под влиянием разнообразных процессов дифференциации вещества, многие из которых подчиняются закону географической зональности. Особенности процессов гипергенеза, характер почвообразования в условиях тундровых ландшафтов Западной Сибири связаны с зональными факторами – низкими температурами, переувлажненностью и господством устойчивого водного режима, широким распространением многолетнемерзлых пород, замедленными темпами биологического круговорота веществ. Многообразие процессов миграции и аккумуляции вещества может быть выражено двумя основными векторами – биогенной и водной миграции. Интенсивный вынос растворимых веществ из рыхлой толщи – закономерное следствие избыточного переувлажнения, характерного для холодно-влажных областей, и обусловлено генетически [221]. В кислых почвенных растворах активно протекает миграция многих веществ в виде комплексных органических соединений, что приводит к обеднению почв. Противовесом этому процессу является биологическое накопление. Органогенные горизонты почв аккумулируют многие химические элементы и соединения. Особенно интенсивное биогенное накопление характерно в тундрах для цинка, свинца, меди [70].

Тундры Западной Сибири лежат в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород (ММП). Повсеместное их распространение и наличие сезонно-талого слоя, в котором происходят фазовые переходы воды, в значительной степени определяют геохимические особенности ландшафтов тундровой зоны.

Общее свойство коры выветривания полярных территорий – преобладание физического выветривания над химическим [220]. Частое повторение циклов замерзания–размерзания при высокой увлажненности рыхлой толщи приводит к интенсивному физическому разрушению материнской породы. Низкие температуры почвенной толщи обуславливают замедленный темп химического изменения первичных минералов породы и, следовательно, небольшое количество освобождающихся при этом оснований. Однако нельзя считать криолитозону областью с “законсервированными” геохимическими процессами. Периодическое промерзание и протаивание грунтов оказывает стимулирующее влияние на процессы миграции элементов в сезонно-талом слое. По данным Б.Б. Вагнера [28], многократные изменения агрегатного состо-

яния воды значительно интенсифицируют переход микроэлементов из пород в воды. Даже при однократном замораживании процессы выщелачивания продолжают идти в ледяной фазе за счет пленочной воды. Это обеспечивает возможность транспортировки элементов в толще многолетнемерзлых пород. Капельно-жидкая вода, находящаяся в тонких капиллярах, также замерзает при очень низких температурах. Высокая химическая активность воды и большая поверхность контакта с частицами горных пород стимулируют процессы ионного обмена, разрушения и растворения, что находит выражение в насыщении жидкой фазы компонентами породы [145].

Важно отметить, что вынос растворимых форм осуществляется в большинстве случаев независимо от того, является ли рыхлая толща хорошо дренированной (не переувлажненной) или она плохо дренируется (переувлажнение, оглеение). В последнем случае вынос минеральных оснований осуществляется поверхностным, боковым или сифонным стоком [220]. Миграционной активности многих микроэлементов способствует большое содержание органического вещества во внутрпочвенных водах (до 20–40 мг/л) [28]. Медленно окисляющиеся из-за низкой температуры органические кислоты играют значительную роль в выщелачивании.

Интенсивность водной миграции химических элементов в надмерзлотных водах криолитозоны была определена В.М. Питулько [173]. Согласно его подсчетам, к очень подвижным мигрантам в надмерзлотных водах относятся S, Zn, Mo, Ca, Mg, к легкоподвижным – Ag, Cu, Ni, Na, к подвижным – Mn, Cr, V, Co, Fe, Pb, Ba, к слабоподвижным – Al, Si, Sn, к весьма слабоподвижным – Ti, Nb, Zr.

Следует также отметить важную роль ММП как водоупора, поскольку движение влаги происходит по верхней границе мерзлоты. Вследствие переувлажнения почвенной толщи в нижних горизонтах почв создается восстановительная обстановка, что приводит к оглеению почв и находит морфологическое выражение в формировании горизонтов сизого, серо-сизого цвета. В почвах легкого механического состава поверхностные горизонты отличаются доминированием окислительной обстановки. Контрастные окислительно-восстановительные условия – характерное свойство геохимии почв тундры.

Для мерзлотных ландшафтов характерен высокий уровень механической миграции, обусловленный морозной сортировкой материала и криогенным выветриванием. Отмечается проявление экзогенных процессов, связанных со значительным перемещением твердого и жидкого материалов и приводящих к нарушениям структуры почв (термоэрозия, солифлюкция, термокарст, морозное пучение, растрескивание, криотурбация).

Важнейшее значение для процессов выветривания и почвообразования имеет биогеохимическая миграция веществ. Роль биоты в формировании геохимической структуры ландшафтов проявляется двояко. С одной стороны, образование подвижных органических кислот в ре-

зультате разложения растительных остатков существенно усиливает процессы химического изменения пород, особенно приповерхностных горизонтов, повышает миграционную активность многих элементов и интенсифицирует процессы их выноса за пределы толщи почвы и коры выветривания. С другой стороны, благодаря биогенной концентрации происходит перераспределение элементов в толще почвы. Аккумуляция элементов-биофилов растениями с последующим закреплением в органических горизонтах почв стабилизирует вещественный состав ландшафта.

Слабый темп минерализации и гумификации и быстрое выщелачивание (из-за обилия влаги, кислой реакции среды и легкой растворимости зольных элементов) приводят к тому, что малоразложившиеся растительные остатки оказываются сильно выщелоченными, обедненными основаниями. Большая часть оснований необратимо выносятся из почвенной толщи, и лишь незначительная часть остается, создавая относительное накопление в органических горизонтах. А.И. Перельман [167] выделил особый тундровый тип биологического круговорота веществ с преобладанием таких элементов, как алюминий, железо, марганец, при общем низком темпе минерализации растительных остатков. Низкая интенсивность биологического круговорота и связанная с этим низкая самоорганизация определяют малую устойчивость ландшафтов к антропогенному воздействию [170].

В олиготрофных условиях, при низкой теплообеспеченности и переувлажнении, трансформация органического вещества растительных остатков идет по пути образования двух основных форм органического вещества: грубых органических остатков, образующих на поверхности почв кислые перегнойные, перегнойно-торфянистые и торфянистые горизонты, и высокоподвижных, кислых, агрессивных по отношению к минеральной массе органических кислот (фульвокислот, свободных гуминовых и, возможно, некоторых элементарных органических кислот). Следствием этого является проникновение подвижных гумусовых веществ глубоко в минеральную толщу коры выветривания и почв [220]. Миграция гумуса фактически охватывает всю дренируемую толщу, причем значительная часть наиболее подвижных фракций органического вещества не задерживается в этой толще, а выносятся в речные воды. С этим связана высокая концентрация органического вещества в речных водах тундры и лесотундры.

Таким образом, общими особенностями природных условий региона, определяющих протекание биогеохимических процессов и формирование ландшафтно-геохимической структуры, являются замедленный темп биологического круговорота, преобладание физического выветривания над химическим. Определяющее влияние на формирование почвенного покрова тундр Западной Сибири оказывают общая переувлажненность, низкие среднегодовые температуры, практически повсеместное распространение многолетнемерзлых пород, широкое проявление современных процессов заболачивания. Процессы криогенного пучения, морозобойной трещиноватости, солифлюкции и термокарста вы-

зывают развитие микрорельефа и, как следствие, мозаичность и комплексность почвенного покрова.

Для тундровых биоценозов характерна низкая продуктивность и медленный темп минерализации растительных остатков. Северная часть Западно-Сибирской равнины относится к арктотундровой ландшафтно-геохимической области с азотным типом биологического круговорота очень малой емкости и кислым глеевым классом водной миграции [154]. Таким образом, биологический круговорот в геосистемах тундр замедлен, интенсивность почвообразовательного процесса невысока. На значительной территории почвообразующие породы представлены песками и супесями, что обуславливает интенсивный вынос веществ, низкую минерализацию почвенных растворов, малые запасы элементов минерального питания и бедный микроэлементный состав.

2.2. Химические особенности преобладающих типов почв

При описании ландшафтно-геохимических особенностей любой территории почвам традиционно отводится ведущая роль. Центральное положение в системе биогеохимического круговорота делает почвы важнейшим объектом экологических исследований. В структуре почвенного покрова запечатлен целый комплекс факторов природной среды, в том числе и геохимическая информация. Даже морфологические особенности почвенного профиля, без специальных химических анализов, отражают некоторые особенности химического состава. К примеру, наличие в профиле охристых горизонтов свидетельствует о значительном содержании окисного железа, а сизая окраска – о глеевой восстановительной обстановке с характерным для нее выносом Fe^{2+} . Одно из условий корректного проведения мониторинга окружающей среды – установление фонового содержания элементов (в первую очередь тяжелых металлов) в почвах различных природных зон вне влияния техногенных факторов [61, 98]. Определение фоновых почвенно-геохимических параметров необходимо при расчете показателей, характеризующих загрязнение (коэффициенты концентрации, суммарный показатель загрязнения). Характеристика территориальных и внутрипрофильных закономерностей распределения микроэлементов в почвах и определение особенностей их миграции и аккумуляции является основой для оценки устойчивости ландшафтов [58].

Характеризуя тундровые почвы (табл. 2.1–2.5), мы придерживались типологического списка, составленного при проведении крупномасштабной почвенной съемки Ямала В.С. Дедковым [179], который в своей работе опирается на номенклатуру почв, приведенную в “Классификации почв СССР” [87]. При несовпадении номенклатуры почв с современными названиями, представленными в [100], в скобках приводятся современные синонимы.

Зависимость почвообразовательного процесса от природных условий в тундрах Западной Сибири выражена весьма отчетливо. Пространственное изменение типов почв сопряжено со сменой элементов

Таблица 2.1

Химические свойства тундровых глеевых почв п-ова Ямал

Почвенный горизонт	Глубина, см	pH _{водн}	Органическое вещество, %	Калий подвижный, мг/кг	Фосфор подвижный, мг/кг	Магний обменный, ммоль/100 г почвы	Кальций обменный, ммоль/100 г почвы	Азот общий, %
<i>Тундровая криогенная глеевая почва на суглинках морского генезиса (центральная часть п-ова Ямал, Ростовцевское месторождение)</i>								
O	0–3	5,96	24,7*	421	5	4,03	9,05	2,19
G1	3–10	5,41	1,01	54	30	2,69	4,17	0,18
G2	10–20	5,72	1,63	104	81	2,9	4,17	0,13
CG	40–45	6,07	0,79	119	253	2,22	4,22	0,17
<i>Тундровая торфянисто-глеевая почва на супесчаных отложениях аллювиально-морского генезиса (восточная часть п-ова Ямал, низовья р. Нурмаяха)</i>								
T	1–8	5,16	30,0*	362	66	0,41	0,93	0,68
G	8–20	5,93	0,8	40	116	1,31	2,05	0,07
C	40–45	6,41	0,48	40	152	0,93	1,84	0,08

* Потери при прокаливании.

Таблица 2.2

Химическая характеристика болотно-тундровых почв

Элемент микрорельефа	Горизонт	Глубина, см	pH _{водн}	Гумус, %	Гидролитическая кислотность, мг-экв./100 г почвы	N _{общ} , %	P ₂ O ₅	K ₂ O
							мг-экв./100 г почвы	
<i>П-ов Ямал, Бованенковское месторождение</i>								
Вершина бугра	E	0–6	5,37	75,3*	18,3	0,23	15,2	23,1
	T1	6–10	5,87	34,2*	8,8	0,11	5,3	17,2
	T2	10–19	6,23	3,12	7,6	0,04	5,6	6,1
	G	19–40	6,28	2,76	8,3	0,07	8,6	6,3
Ложбина	E	0–8	4,6	73,7*	60,2	0,97	2,3	17,6
	T1	8–14	5,0	41,4*	16,9	0,33	2,1	12,3
	T2	14–25	5,0	18,2	17,3	0,37	0,7	6,3
	G	25–30	6,5	1,3	5,1	0,09	0,4	6,0
Выровненный участок террасы	E	0–5	4,6	48,6*	17,6	0,62	1,9	26,5
	T1	5–13	4,8	33,2*	10,2	0,26	1,6	30,1
	T2	13–23	4,7	27,6*	12,4	0,42	1,4	10,7
	T3	23–33	5,1	26,4*	6,8	0,41	1,4	13,5
	G	33–45	5,8	1,3	7,2	0,11	2,8	3,8
<i>Тазовский п-ов, Находкинское месторождение</i>								
Склон водораздела без микрорельефа	T1	5–15	4,3	85,1*	88,0	0,32	8,2	16,5
	T2	15–25	4,8	73,9*	65,9	0,28	3,5	14,2
	G	25–40	5,6	9,2	9,6	0,10	1,1	7,8

* Потери при прокаливании.

Таблица 2.3

Химическая характеристика болотной торфянисто-глеевой почвы (восточный Ямал, низовья р. Нурмаяха)

Почвенный горизонт	Глубина, см	pH _{водн}	Органическое вещество, %	Азот общий, %	Калий подвижный, мг/кг	Фосфор подвижный, мг/кг	Магний обменный		Кальций обменный
							ммоль/100 г почвы		ммоль/100 г почвы
О	0-5	3,9	93,7	0,95	450	49	5,09		11,98
T1	5-15	4,5	52,12	1,98	135	15	0,69		3,45
T2	15-35	4,9	70,62	2,04	150	32	2,07		9,65
G	35-40	5,4	1,8	0,7	120	17	1,1		4,5

Таблица 2.4

Химические свойства криогенно-глеевой аллювиальной почвы (р. Нурмаяха)

Почвенный горизонт	pH	Органическое вещество, %	Калий подвижный, мг/кг	Фосфор подвижный, мг/кг	Магний обменный		Кальций обменный	Азот общий, %
					ммоль/100г почвы		ммоль/100г почвы	
T1	4,92	8,86	150	<2	1,72		2,5	0,11
G1	4,97	1,69	40	15	0,62		0,93	0,13
T2	5,56	9,08	62	<2	0,52		3,19	0,51
G2	5,45	0,65	40	14	0,26		0,48	0,067
Cg	5,36	0,59	40	34	0,19		0,4	0,072

Таблица 2.5

Химическая характеристика почв арктических тундр п-ова Ямал (Тамбейская группа месторождений)

Показатель	Тундровые торфянисто-глеевые, n = 18		Криогенно-глеевые почвы пятен, n = 4		Подбуры, n = 8		Подзолы, n = 10		Болотно-тундровые, n = 4		Болотные низинные, n = 4		Аллювиальные, n = 14	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
pH _{сол}	4,58	4,95	4,81	5,10	4,47	4,52	4,77	5,09	4,04	3,95	4,12	4,59	4,89	5,50
pH _{водн}	5,71	6,01	6,41	6,88	6,07	6,14	6,37	6,61	5,22	5,74	5,22	5,73	6,28	6,81
Гумус, %	88,0*	2,4	0,6	0,5	4,8	1,6	1,8	0,61	26*	3,1	42,0*	4,4	2,1	4,03
N _{общ} , %	0,28	0,18	0,03	0,03	0,14	0,05	0,06	0,03	0,69	0,06	0,75	0,12	0,05	0,09
P ₂ O ₅ , мг/кг	59,4	66,4	81,5	147	28,3	139	86,2	109	89	70	19,3	47,5	176	180
K ₂ O, мг/кг	268	211	187	262	168	217	231	232	294	86	294	169	212	359
ЕКО, ммоль/100 г	1,59	1,47	1,24	1,79	1,10	2,34	1,76	1,46	1,65	3,85	1,52	0,97	2,11	2,16
СПО, ммоль/100 г	6,14	3,29	0,80	0,25	0,28	0,45	1,15	1,28	10,4	7,40	15,2	1,90	6,15	7,65

Примечание. I – органогенные (подстилочные, торфяные горизонты); II – минеральные горизонты.

* Потери при прокаливании.

рельефа, типа почвообразующих пород, водного режима, микроклимата, растительности. Основу почвенного покрова Западно-Сибирских тундр составляют тундровые глеевые и болотно-тундровые почвы [16, 17]. Наиболее широко распространенным типом почв являются тундровые глеевые почвы (глееземы), которые приурочены к возвышенным участкам и пологим склонам водоразделов, покрытых кустарничково-лишайниково-моховыми, травяно-мохово-лишайниковыми, осоково-кустарничково-моховыми сообществами. В морфологическом строении профиля отчетливо выражен глеевый горизонт мощностью до 40–50 см, сизой либо голубой окраски, часто с охристыми прослоями и пятнами, что свидетельствует о чередовании окислительных и восстановительных процессов. Подстилочно-торфяной горизонт обычно имеет небольшую (0–10 см) мощность и прерывистое горизонтальное сложение вследствие мерзлотного пучения, выдавливающего минеральные горизонты на поверхность. В различных ландшафтных условиях тундровые глеевые почвы образуют комплексы по Фридланду [236]. В бугорковатых тундрах образуется комплекс тундровых глеевых оторфованных почв вершин бугорков с мощностью торфяного слоя 1–3 см и тундровых глеевых торфянистых почв межбугорковых понижений с мощностью торфяного горизонта 5–15 см. В кустарничково-мохово-лишайниковых тундрах со слабо развитым микрорельефом почвы обычно тундровые глеевые торфянистые. Характеристика физико-химических и агрохимических свойств тундровых глеевых почв, типичных для региона, представлена в табл. 2.1.

Тундровые глеевые почвы, в особенности на породах легкого механического состава, отличаются невысокими запасами элементов минерального питания растений, имеют низкое содержание обменных оснований. Реакция почвенного раствора в верхней части профиля слабокислая, в нижележащих горизонтах близкая к нейтральной. Анализы свидетельствуют о незначительном содержании в минеральной части профиля органического вещества, содержание гумуса в глеевых горизонтах составляет 0,8–1,5 %, в почвообразующей породе – до 0,8 %. Гумус в тундровых глеевых почвах Западной Сибири фульватный, $C_r/C_\phi = 0,4–0,6$ [32, 33]. Почвы имеют низкое содержание азота, в особенности в минеральных горизонтах, содержание фосфора, напротив, минимально в торфяных горизонтах.

Усиление гидроморфности, свойственное ландшафтным комплексам плоских слаборасчлененных водоразделов, покрытых травяно-моховыми, ивняково-ерниковыми травяно-зеленомошными, кустарничково-травяно-сфагново-зеленомошными фитоценозами, проявляется в формировании болотно-тундровых почв (торфяно-глееземов). В минеральных горизонтах этих почв интенсивно развивается глеевый процесс. Мощность торфа составляет 10–15 см в микропонижениях, 15–25 см на буграх. Как и в тундровых глеевых, в болотно-тундровых почвах химические показатели верхней органогенной части профиля заметно отличаются от показателей нижележащей минеральной толщи.

Органогенные горизонты характеризуются кислой реакцией, высокой гидролитической кислотностью (см. табл. 2.2). Насыщенность основаниями ниже, чем в тундровых глеевых почвах, и составляет в верхних горизонтах 60–75 мг-экв./100 г почвы. В нижней части профиля гидролитическая кислотность падает до обычных значений глеевого горизонта – 6–8 мг-экв./100 г почвы.

Болотные криогенные торфяно-глеевые почвы (торфоземы криогенные) распространены в пределах слабодренированных плоских водоразделов, занятых полигональными травяно-моховыми и осоково-пушицевыми болотами. По морфологии почвенного профиля болотные торфянисто-глеевые почвы сходны с болотно-тундровыми, но отличаются большей мощностью торфяного слоя, составляющей 30–40 см. Как правило, с глубины 20–30 см торф мерзлый.

Почвы кислые и сильнокислые ($pH = 3,9–5,4$), характеризуются высоким содержанием подвижных калия и фосфора, аккумулирующихся в органогенных горизонтах. По сравнению с тундровыми глеевыми почвами болотные торфянисто-глеевые почвы имеют более кислую реакцию среды и слабую степень разложения растительных остатков, слагающих поверхностные горизонты. Органогенные горизонты имеют большую насыщенность обменными основаниями. Содержание подвижного фосфора невелико, а содержание калия несколько выше, чем в других типах почв. Наблюдается заметное увеличение концентраций азота в органогенных горизонтах почв по сравнению с минеральными (см. табл. 2.3). Верхние части торфяной залежи, состоящие из слабо-разложившихся остатков растений, имеют низкую зольность, не превышающую 5–8 %. Основная часть торфяного горизонта имеет слабую и среднюю степени разложения. По ботаническому составу торф болотных почв отличается от торфа тундровых почв. В его составе преобладают осоки, сфагновые мхи, соответственно его химический состав отличается от состава торфа тундровых торфяно-глеевых почв.

На участках возвышенных водоразделов, сложенных песчаными породами, особенно в подзоне южных тундр, из элементарных процессов почвообразования доминирующее значение приобретает Al-Fe-гумусовый процесс, в результате которого формируются подзолы и подбуры. В подзолах под тонким органогенным горизонтом залегает горизонт E белесого цвета, который сменяется охристо-бурым иллювиальным горизонтом. В нижней части профиля тундровых подзолов бурый горизонт постепенно бледнеет, приобретает серо-сизую окраску с неяркими охристыми пятнами, что свидетельствует о чередовании окислительных и восстановительных условий. От иллювиально-железистых подзолов, являющихся основой почвенного покрова песчано-супесчаных волнистых водораздельных увалов и надпойменных террас крупных рек в северной тайге, тундровые альфегумусовые подзолы морфологически отличаются менее яркими цветами генетических горизонтов, криотурбированностью, иногда – признаками глееватости в нижних, надмерзлотных горизонтах.

На участках обширных песчаных раздувов с несомкнутыми кустарничково-злаковыми, кустарничково-лишайниковыми сообществами образуются эоловые примитивные почвы (псаммоземы) со слабо развитым профилем, практически не дифференцированным на генетические горизонты. Данные почвы отличаются бедным химическим составом, низким содержанием гумуса, обменных оснований, элементов питания растений.

Озерно-пойменные почвы (глееземы супераквальные) составляют основу почвенного покрова озерных пойм и хасыреев, широко распространенных на водораздельных пространствах морских эрозионных террас. Выделяют два подтипа: озерно-пойменные глеевые иловатые и озерно-пойменные дерново-глеевые [179]. Иловатые озерно-пойменные почвы приурочены к слабодренированным заболоченным участкам под арктофиловыми и осоковыми сообществами. Морфологический профиль этих почв слабо дифференцирован на горизонты, под слоем мало разложившихся растительных остатков мощностью до 10 см находится глеевый горизонт с многочисленными корнями растений сизого цвета с охристыми пятнами, вызванными ожелезнением. Зачастую эти почвы покрыты водой. Озерно-пойменные дерновые почвы встречаются на дренированных участках под травяно-злаковыми луговинами. Реакция почв близка к нейтральной, наблюдается гидрогенная аккумуляция железа.

Особенности почвенного покрова речных пойм определяются условиями дренажа, составом почвообразующих пород, режимом пойменности, местоположением в экологическом ряду. На прирусловых участках, где режим аллювиальности выражен наиболее отчетливо, формируются слоистые разновидности аллювиальных почв, в профиле которых обнаруживаются погребенные биогенные горизонты. Аллювиальные примитивные почвы приурочены к молодым аллювиальным наносам вблизи уреза воды. На хорошо дренированных участках пойм под осоково-пушицево-злаковыми сообществами распространены аллювиальные криогенные дерново-глеевые почвы. Эти почвы имеют сформированный профиль, в котором четко выделяются дерновый, гумусово-аккумулятивный и гумусово-иллювиальный горизонты. Глубина сезонного протаивания зависит от механического состава почв и мощности дернового горизонта. Как правило, она составляет 70–80 см. Реакция почв нейтральная, реже слабокислая. Характерна гидрогенная аккумуляция железа. В аллювиальных дерновых почвах отчетливо выражено биогенное накопление фосфора в поверхностном органогенном горизонте [180].

Аллювиальные болотные криогенные торфянисто-глеевые и иловато-торфянисто-глеевые почвы приурочены к плоским, слабодренируемым надпойменным террасам. Растительность представлена пушицево-осоково-гипновыми, осоково-сфагново-гипновыми сообществами. Мощность торфа в данных почвах, как правило, небольшая, составляет 15–25 см. Степень разложения торфа низкая. Реакция водной вытяжки

из торфов слабокислая или кислая. Отмечено, что торфяные аллювиземы имеют неплохой потенциал плодородия, который в экологических условиях Ямала практически не реализуется [179]. По нашим обследованиям, проведенным в пойме р. Нурмаяха (центральный Ямал), криогенно-глеевые аллювиальные болотные почвы отличаются низкими запасами подвижного калия и фосфора, малой величиной обменных оснований (см. табл. 2.4). Реакция среды слабокислая в верхней части профиля, в нижележащих горизонтах кислотность несколько падает. Потеря при прокаливании не превышает 10 %, это свидетельствует не о высокой степени разложения торфа, а о значительной примеси мелкозема в торфяных горизонтах. Содержание общего азота в минеральных горизонтах низкое и незначительно увеличивается в органогенных. Вследствие солифлюкционных процессов отмечаются погребенные торфяные горизонты.

Обобщенные показатели физико-химических свойств почв арктических тундр п-ова Ямал представлены в табл. 2.5.

Практически для всех почв тундр Западной Сибири характерна кислая и слабокислая реакции почвенных растворов в поверхностных органогенных горизонтах. Наиболее кислыми являются почвы гидроморфного ряда развития – болотно-тундровые и болотные низинные, что вызвано подкислением при разложении остатков растений. Почвы отрицательных элементов микрорельефа (микропонижений, ложбин) более кислые, чем почвы положительных (бугорков, валиков). В нижней части профиля величина рН возрастает, реакция среды становится близкой к нейтральной. В почвах, сформировавшихся на морских отложениях различного возраста, спорадически наблюдается сдвиг рН в щелочную сторону. Несвойственна кислая реакция почвы и аллювиальным почвам, на биохимические процессы в которых влияют состав пойменной растительности с доминированием разнотравья, злаков и малым обилием кустарничков и мхов, пойменный режим с привнесением мелкозема. Необходимо отметить, что механический состав пород слабо влияет на величину рН. Как у песчаных, так и у суглинистых пород кислотность нижележащих минеральных горизонтов примерно одинакова и близка к нейтральной. Закономерное возрастание рН вниз по профилю почв тундровой зоны неоднократно отмечалось в предшествующих исследованиях [32]. Вместе с тем необходимо отметить, что пространственное распределение кислотности почв зависит от типа растительности и характера увлажнения. В арктических тундрах со слабо-развитым, зачастую несомкнутым растительным покровом и хорошим дренажем, что свойственно песчаным субстратам, почвы менее кислые, чем на участках с хорошо развитой растительностью и значительным переувлажнением.

Сопоставление физико-химических показателей почв тундр Ямала в различных географических районах (табл. 2.6) свидетельствует, что ряд показателей подчиняется закону зональности. Так, наблюдается уменьшение значений показателя рН при движении с севера на юг, от

Таблица 2.6

**Химическая характеристика почв газоконденсатных месторождений
п-ова Ямал**

Месторождение	pH _{водн}	pH _{сол}	N _{общ} , %	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	ЕКО, ммоль/ 100 г	СПО, ммоль/ 100 г
<i>Арктические тундры</i>							
Тасийское, n = 16	6,61	5,06	0,07	106	276	2,6	3,83
Северо-Тамбейское, n = 28	5,99	4,74	0,3	93	240	1,7	7,31
Западно-Тамбейское, n = 50	6,02	4,67	0,08	78	222	1,1	1,56
Южно-Тамбейское, n = 50	6,11	4,74	0,14	94	229	1,9	2,42
Харасавэйское, n = 55	5,68	4,24	0,43	103	216	6,0	12,6
<i>Субарктические тундры</i>							
Бованенковское, n = 80	5,94	4,33	0,31	161	219	6,9	13,7
Крузенштерновское, n = 30	5,67	4,34	0,44	103	249	6,4	16,3
Ростовцевское, n = 14	5,24	–	0,36	56	147	–	5,64

Примечание. Прочерк – показатель не определялся.

арктических к субарктическим тундрам. Максимальное значение pH свойственно почвам Тасийского месторождения, расположенного на северо-востоке Ямала. В.Д. Васильевской [31] при исследовании почв тундр Средней Сибири также было отмечено, что по мере движения от гор Бырранга к югу, к полосе лесотундры, намечается тенденция к возрастанию кислотности и уменьшению степени насыщенности основаниями. Увеличение кислотности связано с ростом фитомассы и ускорением биогеохимических процессов разложения органического материала при возрастании суммы температур теплого периода.

Содержание гумусовых веществ минимально в криогенно-глеевых почвах пятен с крайне слабым проявлением деятельности фитобиоты, а также в альфегумусовых подзолах, для которых характерна интенсивная миграция вещества из-за отсутствия геохимических барьеров. Емкость катионного обмена исследованных почв колеблется в пределах 0,5–16 ммоль на 100 г почвы, средние величины изменяются от 1,1 до 6,9 ммоль/100 г. Весьма низка емкость катионного обмена в тундровых криогенно-глеевых почвах пятен и болотных низинных почвах. Повышенные значения ЕКО характерны для минеральных горизонтов болотно-тундровых почв, что связано с надмерзлотным максимумом поглощенных катионов, иногда формирующегося в профиле почв арктической тундры [114]. Большое влияние на емкость катионного обмена оказывает механический состав почвенных горизонтов. Наибольшая емкость катионного обмена характерна для почв тяжелого механического состава, а также для супесей со значительной примесью иловатого мелкозема в речных поймах. В территориальном аспекте наблюдается различие ЕКО почв западного и восточного Ямала: в почвах, развитых

на морских отложениях, которые преобладают в западной части полуострова, величина ЕКО значительно выше, чем на восточном побережье, сложенном аллювиально-морскими осадками. Максимальные значения ЕКО характерны для почв южной части Бованенковского месторождения, что связано с широким распространением засоленных отложений тяжелого механического состава, содержащих значительное количество илистой фракции. Для песчаных почв восточного Ямала характерна очень низкая емкость катионного обмена – 1,1–2,6 ммоль на 100 г почвы.

Почвы характеризуются незначительной суммой поглощенных оснований. С литологическими факторами, а также с влиянием атмосферного морского засоления связаны территориальные различия величины СПО: крайне низкие значения отмечены на участках, сложенных песчаными породами, в восточной части Ямала. Средняя величина суммы поглощенных оснований в почвах северо-восточного Ямала (Тамбейское месторождение), развитых на незасоленных аллювиально-морских породах, составила 3,7 ммоль/100 г при разбросе значений от менее 0,20 до 37,2 ммоль/100 г почвы. Западная часть Ямала, омываемая Карским морем и в значительной степени сложенная засоленными породами, характеризуется более высокими значениями СПО. По данным анализа более 200 проб, отобранных в пределах Бованенковского, Крузенштерновского и Харасавэйского месторождений, среднее значение СПО составляет 14,1 ммоль/100 г почвы, что почти в 4 раза выше, чем в северо-восточной части Ямала. В особенности велика величина СПО в почвах, развитых на засоленных породах приморской лайды и первой морской террасы. Максимальные величины характерны для приморских участков Крузенштерновского месторождения. Юго-восточная часть Ямала (низовья р. Нурмаяха, побережье Обской губы) характеризуется величинами СПО от 0,6 до 17,1 (в среднем 5,64 ммоль/100 г).

Среди различных типов почв наименьшая сумма поглощенных оснований характерна для тундровых криогенно-глеевых почв и подбуrows, максимальные значения отмечены в торфяных горизонтах болотно-тундровых и болотных низинных почв. Таким образом, величина СПО зависит от запасов органики в почвах.

Содержание элементов питания растений – азота, фосфора и калия определяет способность почв к созданию фитомассы. От запаса этих элементов в почвах зависит возможность быстрого и эффективного восстановления растительности на нарушенных участках, а это в свою очередь непосредственно влияет на установление термического равновесия в системе многолетнемерзлые породы–сезонно-талый слой–атмосфера. Таким образом, от содержания этих веществ в значительной степени зависит устойчивость ландшафтов криолитозоны. Данные, полученные в различных районах п-ова Ямал, как и материалы предшествующих исследований [16, 32, 179], свидетельствуют об обедненности тундровых почв Западной Сибири элементами минерального питания растений. Выполненные нами исследования подтверждают факт низко-

го содержания общего азота в почвах арктических тундр, составляющего в верхних органогенных горизонтах от 0,18 до 2,3 %, а в нижележащих минеральных – от 0,04 до 0,31 %. Содержание азота в органогенных горизонтах в 1,8 раза выше, чем в минеральных. Иногда в глеевых горизонтах почв содержание азота резко повышается вследствие накопления органических кислот, мигрирующих вниз по профилю и оседающих на мерзлотном барьере. Максимальными запасами азота отличаются болотно-тундровые и болотные низинные почвы. В аллювиальных почвах интенсивная вертикальная миграция веществ приводит к увеличению запасов азота в минеральных горизонтах. Повышенными запасами азота характеризуются почвы хасыреев (котловин спущенных озер), что связано с наследованием почвами высокого содержания азота в озерных осадках. Чрезвычайно бедны азотом криогенно-глеевые почвы пятен и тундровые подзолы.

Крайне малы запасы азота в почвах северо-восточного Ямала, где преобладают песчаные почвообразующие породы. Средняя концентрация азота в почвах Тамбейской группы месторождений составила 0,08 %. В западной части полуострова содержание азота в почвах значительно выше. Содержание азота в минеральных горизонтах почв Крузенштерновского и Харасавэйского месторождений составляет в среднем 0,14 и 0,12 % соответственно. Полученные данные о содержании азота в различных типах почв весьма сходны с данными, приводимыми для почв других районов Ямала [179].

Для почв п-ова Ямал характерны малые запасы подвижного фосфора, однако содержание этого элемента меняется в зависимости от состава грунтов, ландшафтно-геохимических условий, типа растительности. Радиальная дифференциация фосфора в профиле почв прослеживается весьма отчетливо. Повышенные концентрации свойственны нижней части профиля и наблюдаются в глеевых горизонтах. Одна из причин этого – образование фосфата железа (вивианита) в восстановительной обстановке на щелочном геохимическом барьере [170]. На обеднение фосфором поверхностных минеральных горизонтов влияет интенсивное поглощение растительностью и соответственно сокращение его запасов в корнеобитаемом слое. Ранее было установлено, что величина коэффициента биологического накопления фосфора для растений арктических и субарктических тундр $K_0 > 10$ и этот элемент относится к группе интенсивного накопления [137, 180]. Таким образом, значительные запасы подвижного фосфора в тундровых экосистемах находятся в живой фитомассе. Подобно тому, как биогеохимической особенностью бореальных лесов, по Добровольскому [70], является продолжительное удерживание поглощенных химических элементов в живом веществе и продуктах его отмирания, в тундрах значительное накопление фосфора растениями и длительная консервация его в напочвенной подстилке являются фактором обеднения для корнеобитаемого слоя.

При анализе распределения фосфора в почвах в зависимости от геоморфологических условий в арктических тундрах отмечается тенденция к увеличению запасов в почвах водоразделов и их склонов по

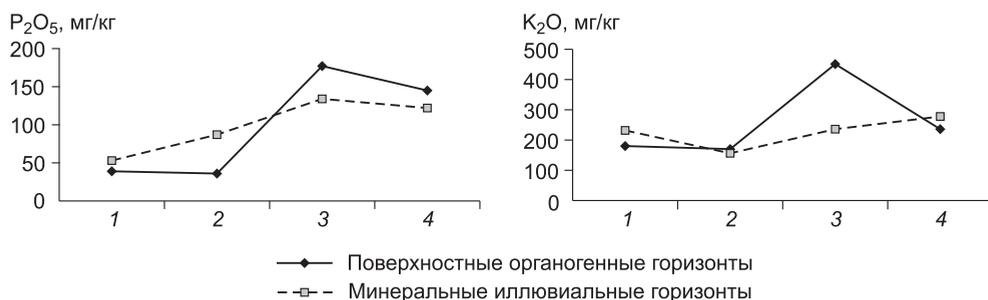


Рис. 2.1. Содержание фосфора и калия в почвах ландшафтно-геохимического профиля арктических тундр п-ова Ямал:

1–4 фашии: 1 – кочкарная плоская поверхность второй приозерной террасы; 2 – покатая ровная кочковатая поверхность делювиального шлейфа между двумя конусами выноса на склоне речной долины; 3 – кочковатая, пологонаклонная, местами субгоризонтальная поверхность придолинного педимента, занятого пятнистой тундрой; 4 – плоская, осложненная термокарстом, трещинообразованием и дефляционными процессами водораздельная поверхность

сравнению с гидроморфными и полугидроморфными участками пойм, днищ хасыреев, низких террас (рис. 2.1). В подзоне кустарниковых тундр в южной части Гыданского п-ова повышенными запасами фосфора отличаются, напротив, геохимически подчиненные аллювиальные почвы.

В северо-восточной части Ямала среднее содержание фосфора в почвах изменяется от 78 до 106 мг/кг при варьировании в органо-генных горизонтах от 0,5 до 292 мг/кг, в минеральных – от 12 до 359 мг/кг. Для западного побережья (Бованенковское и Харасавэйское месторождения) характерен более высокий уровень, составляющий от 103 до 161 мг/кг.

В почвах Ямала выявлены довольно высокие концентрации подвижного калия, средние концентрации которого составляют в органо-генных горизонтах 229, в минеральных – 238 мг/кг. В органо-генных горизонтах почв содержание K₂O в 85 % образцов превышает 170 мг/кг, т. е. почвы имеют высокую и очень высокую обеспеченность подвижным калием по агрохимической классификации. В различных типах почв наблюдаются различия во внутрипрофильном распределении подвижного калия. В почвах с развитым торфяным горизонтом (тундровые торфянисто-глеевые, болотно-тундровые, болотные низинные) максимальная концентрация K₂O отмечается в верхней части профиля, в минеральных горизонтах запасы калия снижены. В дерново- и перегнойно-глеевых почвах и подзолах различия в вертикальном распределении калия в целом слабо выражены. В криогенно-глеевых и аллювиальных почвах запасы калия максимальны в нижней части профиля. Анализ распределения подвижного калия в ряду геохимически соподчиненных ландшафтов не позволяет сделать однозначного вывода о характере вертикальной и латеральной миграций этого компонента. В некоторых

случаях наблюдается возрастание запасов калия в почвах водоразделов, в других случаях максимальные концентрации отмечаются в трансэлювиальных склоновых ландшафтах, что говорит о слабой латеральной миграции.

Таким образом, почвы тундр Западной Сибири отличаются низким биопродукционным потенциалом, причем главный ограничивающий фактор – малый запас азота. В большинстве типов почв отмечена слабая насыщенность основаниями и низкая емкость поглощения. Относительно хорошо обеспечены почвы подвижным калием и нередко – подвижным фосфором. Пространственный анализ дает основание для вывода о более благоприятных агрохимических условиях в южных районах полуострова при увеличении теплообеспеченности. Так, максимальные концентрации азота и высокое содержание гуминовых веществ были отмечены в почвах низовий р. Мессояха (южная часть Гыданского п-ова, подзона кустарниковых тундр). К благоприятным для растительности факторам здесь также следует отнести нейтральную реакцию среды и невысокое содержание подвижных гидролитически кислых соединений. Самые низкие показатели почвенного плодородия характерны для северного Тасийского месторождения, что связано с преобладанием песчаных почвообразующих пород и крайне замедленным темпом биологического круговорота.

2.3. Элементный состав почв

Ряд теоретических и прикладных задач экогеохимии, встающих при освоении северных территорий, требует анализа отдельных элементов – их встречаемости и варьирования концентраций, соответствия экологическим нормативам, географических особенностей распределения. Ландшафтно-геохимический анализ на элементном уровне дает возможность проследить внутренние особенности вещественного обмена в геосистемах, место каждого химического элемента в этом процессе. Позлементный анализ служит исходной позицией в оценке биогеохимической ситуации, а также в расчетах, необходимых для определения интегральных показателей ландшафтной динамики и путей ее регулирования [153].

Элементный состав почв определяется рядом факторов, среди которых главенствующую роль играют свойства почвообразующих пород, особенности биологического круговорота и водного режима. Совокупность этих факторов приводит к значительной пестроте ландшафтно-геохимической структуры и значительной вариабельности в распределении химических элементов – как радиальной, так и латеральной. При рассмотрении состава почвообразующих пород нами были отмечены резкие различия, связанные с механическим составом: песчаные породы по сравнению с суглинками и глинами обеднены практически всеми элементами, в породах тяжелого механического состава концентрации большинства элементов близки к кларку или ненамного ниже его. Имен-

но проявлением литологического фактора в значительной степени определяются пространственные различия в микроэлементном составе почв. Так, преобладание песчаных аллювиально-морских отложений в северо-восточной части Ямала (Тамбейское месторождение) обуславливает бедный состав почв по сравнению с почвами Бованенковского месторождения. Сопоставление состава почв западной и северо-восточной частей п-ова Ямал наглядно свидетельствует, что на западе (Бованенковское, Харасавэйское, Крузенштерновское месторождения) почвы отличаются более высокими концентрациями большинства элементов, за исключением никеля и хрома (рис. 2.2).

Типоморфным элементом ландшафтов кислого глеевого класса является железо. В почве железо находится в виде свободных ионов, окислов, гидроокислов, около 50 % металлов в разных типах почв связано с гидроксидами железа [70]. При периодической сезонной смене окислительной обстановки на восстановительную, что характерно для тундровых почв, подвижность железа весьма высока. Миграция подвижного железа в форме Fe^{2+} является одним из наиболее типичных почвенно-геохимических процессов в тундровых ландшафтах. Основная форма миграции железа в почвах таежной и тундровой зон – железоорганические комплексы. Наиболее подвижны органоминеральные комплексы в кислой среде. Факторами, определяющими вертикальное и латеральное перемещение железа в тундровых почвах, являются накопление и сорбция железа в органогенных горизонтах. Известно, что гидроокислы железа и марганца, мигрируя с грунтовыми водами, осаждаются на кислородном барьере в торфе [170].

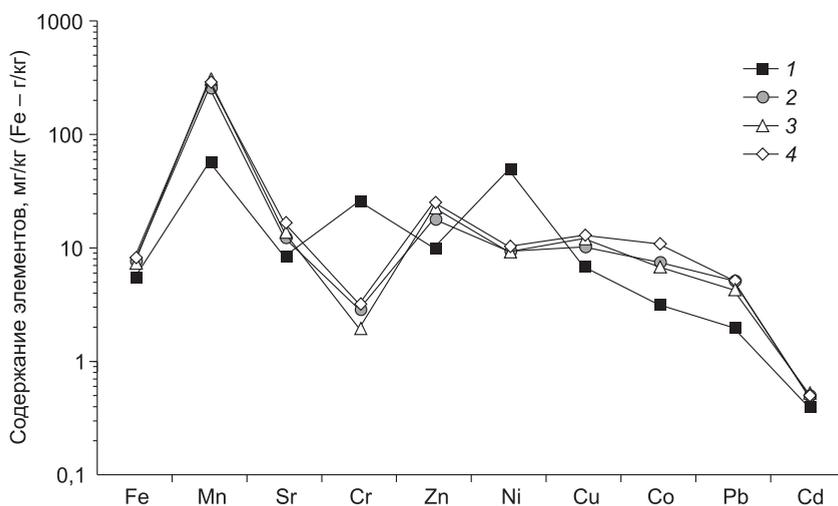


Рис. 2.2. Элементный состав почв газоконденсатных месторождений п-ова Ямал:

месторождения: 1 – Тамбейское, 2 – Харасавэйское, 3 – Бованенковское, 4 – Крузенштерновское

Отмечалось, что в почвах болот Ямала содержится большое количество подвижного железа: 2–10 г/кг почвы в торфяных горизонтах, 2–7 г/кг – в глеевых. В болотно-тундровых почвах содержание подвижного Fe меняется от 1–1,5 в торфяных горизонтах до 6–12 г/кг – в минеральных [179]. Среднее содержание железа в тундровых торфяно- и торфянисто-глеевых почвах на границе типичной и южной тундры составляет в среднем 3,4 г/кг [75]. Как свидетельствуют проведенные нами исследования, содержание подвижного железа в почвах несколько выше приводимых значений и отличается значительной вариабельностью. Так, в почвах Тамбейской группы месторождений концентрация Fe изменяется от 1,5 до 39 г/кг. В среднем в северо-восточной части полуострова содержание железа в почвах не превышает величину 1 %. Процесс гидрогенной аккумуляции железа проявляется практически повсеместно и связан с осаждением его в окислительных условиях. Содержание подвижных форм железа составляет 35–45 % от валовых. В пределах Бованенковского месторождения в большинстве проанализированных проб почв содержание валовых форм железа ниже кларка и лежит в интервале от 1 до 2 %.

Содержание железа в фоновых условиях зависит от механического состава почв и увеличивается в ряду пески–супеси–суглинки. Осаждение на окислительном барьере приводит к повышению содержания железа в аллювиальных и тундровых торфянисто-глеевых почвах, где средние концентрации Fe составляют 2,3 и 2,2 % соответственно. В ряде случаев отмечено формирование оруденелых почв с концентрацией Fe в иллювиальных горизонтах свыше 10 %. Минимальным содержанием валового железа (0,8 %) характеризуются подбуры. Интенсивность выноса общего железа тесно связана с генезисом породы и характером водного режима, максимальный вынос отмечается при застойно-промывном типе [83]. Поскольку в нижней части почвенного профиля происходит увеличение значений pH с переходом в щелочной диапазон, здесь часто наблюдаются повышенные концентрации железа в форме фосфата железа (вивианита), накапливающиеся на щелочном геохимическом барьере [170].

Обобщенные данные, характеризующие элементный состав почв тундр Западной Сибири, представлены в табл. 2.7.

Отмечены значительные пространственные различия содержания меди: минимальное содержание Cu в почвах, сформировавшихся на песчаных породах, среднее – в почвах арктических тундр (Тамбейская группа месторождений) – 6,7 мг/кг, что приблизительно в 3 раза меньше кларка почв. Сходные данные приводятся в работе С.А. Дорожковой [75], согласно которым в почвах тундр Западной Сибири меди содержится 3,6–5,2 мг/кг. В западной части полуострова в почве меди больше по сравнению с почвами Тамбейской группы месторождений: в среднем от 10,2 (Харасавэйское ГКМ) до 12,9 мг/кг (Крузенштерновское ГКМ). В более южных районах лесотундры и тайги содержание меди в почвах значительно выше. Так, для южной части ЯНАО среднее содер-

Таблица 2.7

Микроэлементный состав почв тундр Западной Сибири, мг/кг

Элемент	Участок									
	Харасавэйское ГКМ	Бованенковское ГКМ	Круzenshterновское ГКМ	Тасийское ГКМ	Сев.-Тамбейское ГКМ	Зап.-Тамбейское ГКМ	Юж.-Тамбейское ГКМ	Низовья р. Нурмаяха	Юг Тазовского п-ова	Кларк почв
Mn	258	693	289	76	79	40	48	362	270	850
Cu	10,2	19,6	12,9	6,9	7,0	3,5	8,0	5,6	9,4	20
Ni	9,4	23,9	10,3	39,0	21,4	42,5	68,4	12,8	13,3	40
Zn	17,9	35,6	25,2	9,8	9,8	7,7	24,1	19,6	22,0	50
Cr	12,9	47,6	8,6	29,9	17,4	16,7	31,8	33,0	45,8	200
Sr	7,3	71,8	16,7	9,50	12,5	8,50	5,6	–	–	300
Co	7,5	10,1	10,9	2,4	1,9	1,9	4,6	7,3	6,3	10
Pb	5,1	9,8	5,2	1,6	3,4	1,5	1,5	5,4	7,7	10
Cd	0,5	0,52	0,5	0,25	0,35	0,25	0,29	–	–	0,5
Ba	–	1620	–	225	307	250	276	–	–	500
<i>n</i>	156	220	30	16	28	20	50	21	26	–
R_k^{**}	0,37	0,99	0,44	0,31	0,31	0,29	0,46	0,29	0,32	–

Примечание. Прочерк – содержание элемента не определялось.

* Кларк для валовых форм.

** R_k – коэффициент накопления (среднее из кларков концентрации элементов).

жание меди в почвах оценено в 32 мг/кг [211]. Основная причина низкого содержания Cu в почвах Ямала – малое содержание этого элемента в почвообразующих породах как легкого, так и тяжелого механического состава. Другим фактором обеднения выступает вынос меди в составе водных растворов. Медь относится к группе элементов – легкоподвижных мигрантов в надмерзлотных водах [173], поэтому водная миграция приводит к падению содержания Cu. Накапливается медь преимущественно в иллювиальных горизонтах почв. Недостаток меди в почвах неблагоприятно влияет на живые организмы. Так, по Ковальскому [101], содержание меди в интервале от 6 до 15 мг на 1 кг почвы является критическим, ниже которого начинается ее дефицит, вызывающий те или иные заболевания. Большая группа почв (прежде всего подбуры, подзолы криогенно-глеевые, болотно-тундровые) отличается дефицитом меди. Недостаток ее в почвах – региональная биогеохимическая особенность п-ова Ямал.

Для почв Ямала характерны крайне низкие концентрации такого важного для живых организмов элемента, как цинк. Согласно исследованиям В.М. Питулько [173], цинк относится к группе очень подвижных мигрантов в надмерзлотных водах. Способность цинка образовывать ионные формы определяет его высокую подвижность в арктических и субарктических ландшафтах. Вместе с тем цинк интенсивно накапливается растениями, особенно кустарниками [180]. Бедность литологи-

ческого субстрата, высокая подвижность в водной среде и интенсивное поглощение цинка живой фитомассой определяют низкие запасы этого элемента в почвах, главным образом легкого механического состава. Средняя концентрация цинка в почвах арктических тундр Ямала составляет 10 мг/кг, что примерно в 5 раз ниже кларка почв. Особенно низки концентрации цинка в песчаных почвах Западно-Тамбейского месторождения. В субарктических тундрах западного Ямала (Бованенковское месторождение) содержание изменяется в пределах от 7 до 41 мг/кг, однако и здесь концентрация цинка ниже кларковых показателей. Пониженным содержанием Zn отличаются также почвы Харасавэйского месторождения, где концентрация этого элемента составляет 5–25 мг/кг. Характерно, что для более южных районов ЯНАО среднее содержание цинка в фоновых условиях оценено на уровне 20–68 мг/кг [211]. Таким образом, важным биогеохимическим свойством ландшафтов региона является дефицит цинка в почвах, особенно в почвах северо-восточного Ямала. Относительно повышенным содержанием цинка отличаются почвы аккумулятивных ландшафтов. Максимальные концентрации Zn выявлены в аллювиальных почвах и торфяных горизонтах болотных и болотно-тундровых почв. В почвах с маломощным органомным горизонтом, развитых на песчаных породах, отмечаются крайне малые запасы цинка – это неблагоприятный фактор для восстановления растительного покрова в случае техногенных нарушений.

Свинец относится к числу приоритетных веществ при мониторинге в Арктике, где проводятся циркумполярные исследования уровня атмосферных выпадений этого элемента [258]. Преобладание пород легкого механического состава на севере Ямала определяет низкие концентрации свинца в большинстве исследованных почв. Содержание Pb здесь изменяется от аналитического нуля до 15 мг/кг. В большинстве проб концентрация этого элемента не превышает 3 мг/кг. В почвах Бованенковского и Харасавэйского месторождений содержание Pb несколько выше, однако средняя величина примерно вдвое ниже кларка почв и составляет 4,3–5,2 мг/кг. Для сопоставления, фоновые концентрации свинца в гумусовых горизонтах почв севера Скандинавского п-ва составляют 8 мг/кг [Andersson et al., 1991. цит по: 259]. Таким образом, содержание свинца в почвах ГКМ Ямала находится на низком уровне. На распределение свинца в почве большое влияние оказывают процессы биологического накопления. Как правило, поверхностные органомные горизонты почв содержат этого элемента больше, чем минеральные, что связано с интенсивным накоплением свинца растительностью. Как отмечалось В.В. Добровольским [70], в арктических ландшафтах значительно повышена концентрация свинца, железа и марганца во мхах, растущих в заболоченных днищах долин. Активным накоплением свинца моховой растительностью можно объяснить тот факт, что в почвах Тамбейской группы месторождений повышено содержание Pb в почвах, развитых под травяно-моховой растительностью заболоченных тундр.

Крайне малые концентрации свинца отмечены в почвах геохимически автономных ландшафтов – подбурах, подзолах и дерново-глеевых.

Большинство почв Ямала отличается низкими концентрациями никеля, не превышающими величину почвенного кларка. Однако выявлена значительная пространственная изменчивость содержания Ni: от почти 1 до 1416 мг/кг. Средняя концентрации Ni в почвах Тамбейской группы месторождений, составляющая 49,1 мг/кг, значительно выше, чем в почвах западной части полуострова. Максимальные концентрации никеля, превышающие кларк в среднем в 1,7 раза, выявлены в почвах Южно-Тамбейского месторождения (северо-восточная часть Ямала). В западной части Ямала концентрации никеля более 20 мг/кг почвы фиксируются спорадически, главным образом в пределах Бованенковского месторождения. Повышенные концентрации отмечены как в поверхностных, так и в минеральных горизонтах. Минимально содержание Ni в пределах Харасавэйского ГКМ (от 2 до 5 мг/кг). Разнообразие типов почв и ландшафтных обстановок, в которых зафиксировано значительное повышение концентраций Ni, и слабая зависимость концентрации микроэлемента от характера биологического накопления свидетельствуют о доминирующей роли литологического фактора. Характерно, что повышенные концентрации никеля выявлены в почвах вне участков техногенного воздействия, что свидетельствует о природных факторах его поступления.

Таким образом, в целом уровень содержания химических элементов в почвах тундровой зоны понижен по сравнению с мировыми кларками. Отмечаются отдельные ореолы повышенных концентраций. В почвах Бованенковского месторождения близки к кларку концентрации меди, свинца, кобальта, кадмия и повышено относительно кларка содержание бария. Близки к уровню кларка концентрации кобальта в почвах Крузенштерновского ГКМ, Cd и Ni – в почвах Западно-Тамбейского ГКМ. Повсеместно понижены в 4–20 раз по сравнению с кларками концентрации Cг и Sr, в 2–5 раз ниже кларковых величин концентрации меди. Повышено содержание никеля в почвах Южно-Тамбейского месторождения. Наиболее богатым микроэлементным составом характеризуются почвы тех участков Ямала, где в качестве литогенной основы выступают суглинистые морские отложения (в частности, южная часть Бованенковского ГКМ). Прибрежные районы характеризуются сниженным уровнем содержания микроэлементов, особенно северо-восточная часть п-ова Ямал, сложенная песчаными породами. Содержание микроэлементов здесь (за исключением Ni) составляет десятые доли кларка почв. Представляет интерес сопоставление данных, полученных в тундрах Ямала и Тазовского п-ова, с результатами почвенно-геохимических исследований сопредельных регионов (табл. 2.8).

Почвы п-ова Ямал и Тазовского п-ова по сравнению с Уренгойскими тундрами характеризуются повышенным содержанием марганца (за исключением почв Тамбейской группы месторождений, обедненных практически всеми микроэлементами). В пределах Ямала и Тазовско-

Таблица 2.8

**Уровни регионального фона тяжелых металлов
в почвах севера Западной Сибири, мг/кг**

Территория	Mn	Cu	Ni	Zn	Cr	Sr	Co	Pb	Cd	Ba	V	Ti	Zr
П-ов Ямал и юг Тазовского п-ова (наши данные, $n = 504$)	370	13	26	25	31	32	7,4	6,1	0,41	578	87	4200	120
Север Западной Сибири (без п-ова Ямал) [211]	402	32,3	9,6	41,5	56,0	44,0	6,2	13,5	–	125	98	4873	132
Уренгойские тундры [10]	82	38,0	10,0	70	20,0	50,0	9,0	10,0	0,50	100	30,0	1400	130

Примечание. Прочерк – элемент не был определен.

го п-ова низок уровень содержания в почвах меди, свинца и цинка. Содержание бария и никеля, напротив, повышено, хотя в большинстве случаев и не превышает кларк почв.

2.4. Типы ландшафтно-геохимических сопряжений и особенности латеральной миграции

Общая особенность ландшафтной оболочки – ее геохимическая неоднородность, проявляющаяся на всех уровнях организации. “Химический состав биосферы в разных местах земной поверхности неодинаков. Для ученого бесспорно, что он различен закономерно” [35, с. 75]. Наиболее доступна исследованию неоднородность на топологическом уровне. Различия, которые обусловлены местными факторами перераспределения вещества в результате латеральной миграции из элювиальных фаций в аккумулятивные, относятся к категории межфациальной ландшафтно-геохимической неоднородности [228]. Перемещение вещества вследствие полигенных и полихронных потоков, происходящее в форме водных растворов и в результате механических процессов (ветровая эрозия, солифлюкция), детально описано в различных ландшафтно-геохимических исследованиях. В частности, закономерные изменения состава почв в сопряженных фациях центрального Ямала были описаны М.П. Тентюковым [223].

Пространственная неоднородность химического состава ландшафта зависит от комплекса факторов: состава почвообразующих пород, физико-химических и биологических процессов, особенностей микро- и мезорельефа, поверхностного и грунтового стоков, а также определяется свойствами самих элементов, что отражено в соответствующих справочниках [106, 216]. Однако свойства элементов не являются константными и варьируют при изменении физико-химических условий. Известно, что в зависимости от ряда показателей (рН, окислительно-восстановительный потенциал и др.) многие элементы могут проявлять себя в качестве либо катионогенных, либо анионогенных. К таковым относятся элементы-комплексобразователи – Ti, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb.

Одним из главных способов изучения неоднородности вещественного состава геосистем на топологическом уровне является метод профилирования, изучения геохимических катен. Выявляемые в результате этого типы ландшафтно-геохимических сопряжений, с одной стороны, отражают системное единство ландшафтной оболочки, а с другой – характеризуют факторы ее дифференциации и закономерности миграции вещества.

Изучение латеральной миграции целесообразно проводить в пределах ряда фаций с однородными коренными породами, что позволяет абстрагироваться от влияния литогенной основы на миграцию элементов [97, 228]. Однако это условие соблюсти в условиях пестрой литогенной основы, характерной для ландшафтов тундр Западной Сибири, удастся далеко не всегда. Протяженный профиль, начинающийся на водоразделе, а заканчивающийся в супераквальных условиях, обычно охватывает два типа почвообразующих пород – морские плейстоценовые отложения и современные голоценовые (болотные, озерно-болотные, аллювиальные). В нижних частях склонов доминируют солифлюкционные, делювиальные или пролювиальные породы. То есть различия в водном режиме, свойственные различным геоморфологическим уровням, накладываются и на литологическую неоднородность. Все это усложняет анализ получаемых результатов.

В Ямальных тундрах наиболее типичен водораздельно-долинный тип ландшафтно-геохимических сопряжений, в котором начальным звеном миграционных потоков являются водораздельные поверхности эрозионных морских террас с зональными вариантами тундр, а конечным – супераквальные ландшафты речных пойм. Большое число озер различного размера, преимущественно термокарстового генезиса, а также спущенных озер – хасыреев определяет частую встречаемость водораздельно-озерного типа сопряжения, который характеризуется усилением гидроморфности по мере приближения к озерной котловине. На побережье западного Ямала представлен террасово-морской тип сопряжения.

В северной части п-ова Ямал в качестве литогенной основы ландшафтных комплексов водоразделов выступают морские породы плейстоценового возраста, формирующие пологоволнистые или плоские поверхности различной дренированности. Плакорные местообитания (дренированные пологоволнистые или плоские слабонаклонные участки с легкосуглинистыми или супесчаными почвами) заняты кустарничково-лишайниково-моховыми бугорковатыми тундрами на торфянисто-глеевых почвах. На возвышенных дренируемых водоразделах с суглинистыми почвами распространены осоково-моховые тундры. Как правило, в них хорошо развит микрорельеф, представленный пятнами-медальонами, трещиновато-бугорковатыми формами, образование которых обусловлено растрескиванием и неравномерным сезонным промерзанием, в результате чего образуются замкнутые системы трещин и происходит вспучивание грунтов. Органогенный горизонт почв полигонально-пят-

нистых тундр развит спорадически и имеет небольшую мощность. Преобладающими ландшафтно-геохимическими процессами являются криогенный механогенез и глеегенез. На возвышенных водораздельных увалах с песчаными, хорошо дренированными почвами развиты травяно-лишайниковые тундры с мелкобугристым, пятнистым или полигональным микрорельефом. Сомкнутость растительного покрова невысока, в ряде участков наблюдаются процессы ветровой эрозии и образование котловин выдувания песков. На формирование свойств почвенного покрова влияет Al-Fe-гумусовый процесс, эоловый механогенез. На плоских, слабодренированных поверхностях водоразделов значительные площади занимают полигональные заболоченные тундры и травяно-моховые болота, местами со значительным по мощности (до 0,8 м) слоем торфа. Согласно классификации Л.В. Шумиловой [253], на территории арктических тундр распространены минеральные и торфяно-минеральные болота, представленные двумя типами: травяно-гипновыми однородными и комплексными полигональными (мерзлотно-трещиноватыми травяными и валиково-полигональными осоково-гипновыми). Доминирующими геохимическими процессами в арктических болотах являются глеегенез и детритогенез. Часто в торфе отмечается примесь песка вследствие активных эоловых процессов.

На участках надпойменных террас с гривистым микрорельефом доминируют мохово-лишайниково-травяные тундры с единичным участком кустарниковой ивы. В условиях малоcontrastного рельефа на плоских поверхностях формируются сочетания лишайниково-моховых сообществ по повышениям и травяно-моховых по западинам. Нередки контуры ограниченно дренированных террасовых поверхностей с полигональной тундрой. Широко в ландшафтной структуре представлены хасыреи – природные комплексы спущенных озерных котловин с гидрофитными травяно-осоково-сфагново-гипновыми сериями сообществ. Пойменные ландшафты характеризуются пестротой ландшафтно-геохимических рядов. В поймах крупных рек ряд ландшафтно-геохимических сопряжений обычно включает в себя прибрежные косы и пляжи с открытыми группировками растений на аллювиальных слоистых почвах; низкие заболоченные участки поймы, регулярно затапливающиеся паводковыми водами с травяно-осоково-гипновой растительностью; приподнятые относительно дренированные, частично затапливаемые участки с кочковатыми кустарничково-сфагновыми болотами и фрагментами злаково-разнотравных луговин. Своеобразный тип ландшафтно-геохимических комплексов – приморские лагунно-лайдовые низины, распространенные на низких побережьях Карского моря, особенно в устьях крупных рек Ямала. Для почвообразующих пород лайды характерна высокая засоленность. Низкая лайда незадернована, имеет следы волноприбойной деятельности, изрезана ручьями и протоками. Высокая лайда более дренирована, покрыта кустарничково-моховой и осоково-моховой растительностью. Характерны луговины с доминированием злаков, способных произрастать на засоленных грунтах.

Особенности ландшафтно-геохимической структуры описаны по результатам исследования ряда профилей, заложенных в различных природных условиях. Водораздельно-долинный тип сопряжения арктических тундр описан на ландшафтно-геохимическом профиле, заложенном в северо-восточной части п-ова Ямал (Тамбейское месторождение, район р. Варседеяха, координаты 71°31' с.ш., 70°18' в.д.). Здесь сопряженный ряд образуют следующие фации (рис. 2.3):

- элювиальная (Э) с пятнистой мохово-лишайниковой тундрой на плоской поверхности водораздела, нарушенной термокарстом и дефляционными процессами; почва – песчаная криотурбированная глубинно-глееватая на аллювиально-морских отложениях (amQ_{III});
- трансэлювиальная (ТЭ) со злаково-мохово-лишайниковой кочковатой тундрой на пологонаклонной поверхности; почва – золотая примитивная без четкой дифференциации почвенных горизонтов, с ожелезнением верхней 40-сантиметровой части разреза и неясными следами оглеения в нижней;
- трансэлювиально-аккумулятивная (ТЭА) – участок делювиального шлейфа в нижней части склона с кустарничково-морошково-моховым сообществом на тундровой глеевой почве;
- супераквальная аккумулятивная (СА) с осоково-пушицево-гипновым сообществом плоской поверхности приозерной террасы на болотно-тундровой торфянисто-глеевой почве.

Слабая теплообеспеченность определяет постоянное переувлажнение почвенного профиля, несмотря на песчаный состав пород характерно проявление оглеения. Только в трансэлювиальной фации с песча-

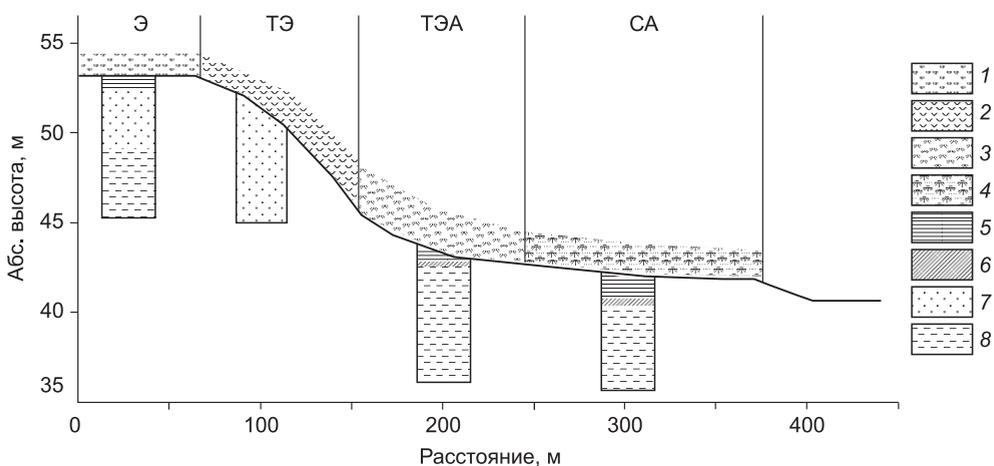


Рис. 2.3. Схема ландшафтно-геохимического профиля:

Э, ТЭ, ТЭА, СА – тип фации (характеристика дана в тексте); 1 – мохово-лишайниковая тундра; 2 – злаково-мохово-лишайниковая кочковатая тундра; 3 – кустарничково-моховая заболоченная тундра; 4 – травяно-осоково-сфагновое болото; 5 – торф; 6 – грубогумусный горизонт; 7 – песчаные горизонты со слабым проявлением глееватости; 8 – оглеенные горизонты

ными почвами глееватость выражена слабо. Для почв характерно крайне низкое содержание общего азота (от 0,02 % в нижней части профиля до 0,11 % в поверхностном органоминеральном горизонте). Содержание подвижного фосфора и калия повышено.

Латеральная дифференциация в данном сопряженном ряду фаций выражена отчетливо (рис. 2.4). Наблюдается снижение pH по мере роста увлажнения и гумусированности. Пространственное распределение элементов имеет сложный характер, зависящий, в частности, от их геохимических свойств. Распределение железа в почвах определяется подвижностью в глеевой обстановке и осаждением при изменении окислительно-восстановительных условий. Отчетливо выражена гидрогенная аккумуляция железа в супераквальной фации вследствие его перехода в малоподвижную форму Fe^{3+} после выноса грунтовыми водами. Также ожелезнение почвенного профиля, выраженное морфологически в форме ржаво-бурых прослоек, связано с формированием кислородного барьера в песчаных почвах пологосклоновой поверхности. Минимально содержание железа в условиях слабооглеенных почв элювиальной и трансэлювиально-аккумулятивной фаций.

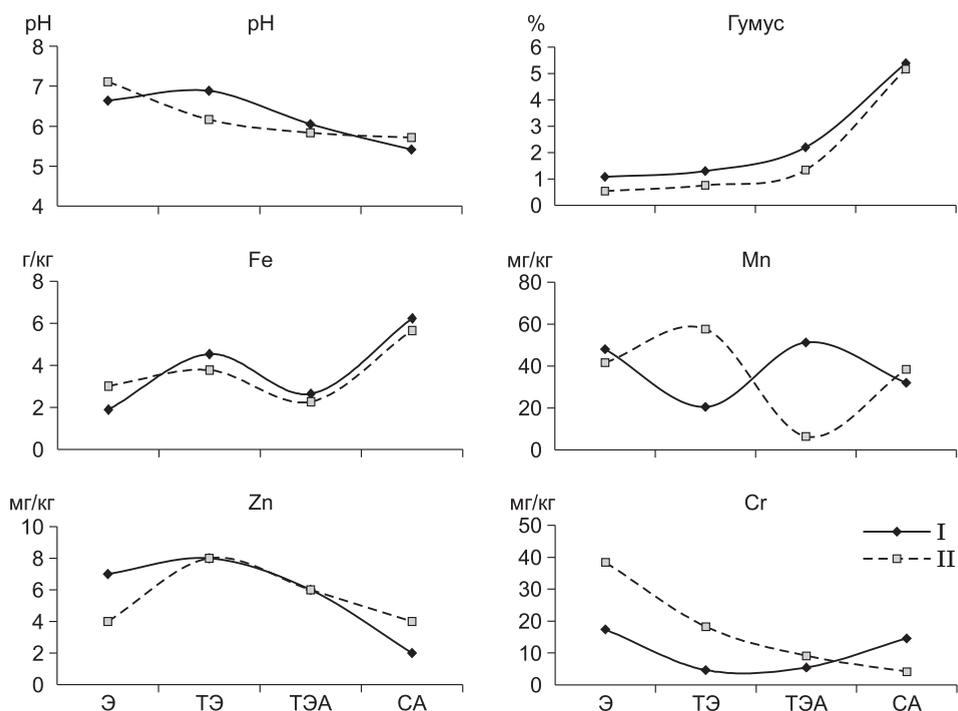


Рис. 2.4. Распределение микроэлементов, pH и органического вещества в почвах различных фаций ландшафтно-геохимического профиля (см. рис. 2.3): фации: Э – элювиальная, ТЭ – трансэлювиальная, ТЭА – трансэлювиально-аккумулятивная, СА – супераквальная; I – органогенные горизонты почв; II – минеральные горизонты

Для латеральной дифференциации микроэлементов в данном ряду фаций характерно постепенное снижение вниз по склону содержания хрома в минеральных горизонтах. Распределение хрома в исследованных почвах не соответствует обычной закономерности увеличения концентрации в подчиненных ландшафтах из-за механической миграции с глинами, гидроксидами железа и органическим веществом [170]. Снижение концентрации хрома в почвах подчиненных ландшафтов свидетельствует о слабо выраженной механической миграции этого элемента из-за господства песчаных пород. Наблюдается повышенное содержание Zn в почвах элювиальной и трансэлювиальной фаций. В гидроморфных условиях слабая выраженность геохимических барьеров вызывает заметное снижение содержания этого элемента, что проявляется как в минеральных, так и в органогенных горизонтах. Таким образом, только для Fe отмечена аккумуляция в нижних звеньях миграционного ряда.

Водораздельно-озерный тип ландшафтно-геохимического сопряжения описан на профиле, заложенном в арктических тундрах Ямала, в районе оз. Тэслахато, координаты 71°24' с. ш., 71°28' в. д. Сопряженный ландшафтно-геохимический ряд образуют следующие фации:

- элювиальная (Э) – плоская поверхность водораздела с лишайниково-травяно-моховой тундрой на тундровых торфянисто-глеевых супесчаных почвах;
- трансэлювиальная (ТЭ1) – пологонаклонная поверхность с полигонально-бугристой тундрой, лишайниковой на полигонах и осоково-пушицевой в западинах, на тундровых подбурях криогенно-глеевых;
- трансэлювиальная (ТЭ2) – пологонаклонная поверхность третьей приозерной террасы с разреженной лишайниковой тундрой на песчаном криотурбированном подзоле;
- супераквальная аккумулятивная (СА) с осоково-сфагновым сообществом плоской поверхности приозерной террасы с возвышением над урезом на 2–3 м, почва – тундровая глеевая криотурбированная ожелезненная песчаная.

Геохимическая обстановка на профиле характеризуется следующими показателями (табл. 2.9): реакция среды слабокислая, близкая к нейт-

Таблица 2.9

Показатели химического состава почв профиля в районе оз. Тэслахато

Показатель	Фация			
	Э	ТЭ1	ТЭ2	СА
pH _{сол}	4,8	4,4	4,6	4,5
pH _{водн}	6,0	6,0	6,4	6,1
Гумус, %	4,7	2,2	1,3	4,3
СПО, ммоль/100 г	1,2	0,55	0,1	0,65
ЕКО, ммоль/100 г	1,4	1,4	1,4	1,1
N _{общ} , %	0,08	0,07	0,04	0,12
P ₂ O ₅ , мг/кг	38	82	47	20
K ₂ O, мг/кг	166	176	164	172

ральной в нижних частях склона. Содержание гумусовых веществ в почвенном профиле невелико, максимальных значений достигает в почвах водоразделов. Сумма поглощенных оснований и емкость катионного обмена очень малы как результат бедности песчаного субстрата. Почвы также крайне обеднены азотом и обменным фосфором.

Для данного ряда фаций характерны разнонаправленные по интенсивности процессы миграции микроэлементов, что находит свое отражение в латеральной дифференциации вещественного состава. Как и в водораздельно-долинном типе сопряжения, отчетливо выражена гидрогенная аккумуляция железа в супераквальных условиях (рис. 2.5).

Однако “поведение” геохимически близкого к железу марганца противоположно – в гидроморфных условиях содержание Mn минимально, а накопление происходит в трансэлювиальной фации лишайниковых тундр на криогенных подзолах. Это связано с различиями миграционной активности: Mn может находиться в растворе в таких водах, где Fe выпало в осадок [170], а также с аккумуляцией Mn на биогенном геохимическом барьере.

Содержание цинка минимально в почвах водораздельных тундр и супераквальных ландшафтов приозерной террасы, повышены концентрации в трансэлювиальных фациях. Цинк является активным мигрантом в надмерзлотных водах [173]. В нижних частях склона с нейтральной реакцией почв происходит осаждение цинка, связанное с изменением миграционной активности этого элемента в зависимости от величины pH. Вероятно, на распределение этого элемента также влияют процессы плоскостного смыва с закреплением на сорбционном барьере, связанном с делювиальным выносом тонкодисперсных частиц. Поскольку концентрация цинка находится в обратной зависимости от содержания органики, накопление цинка на биогеохимическом барьере в почвах не оказывает существенного влияния.

Обобщенные показатели коэффициентов латеральной миграции микроэлементов в почвах арктических тундр, рассчитанные по резуль-

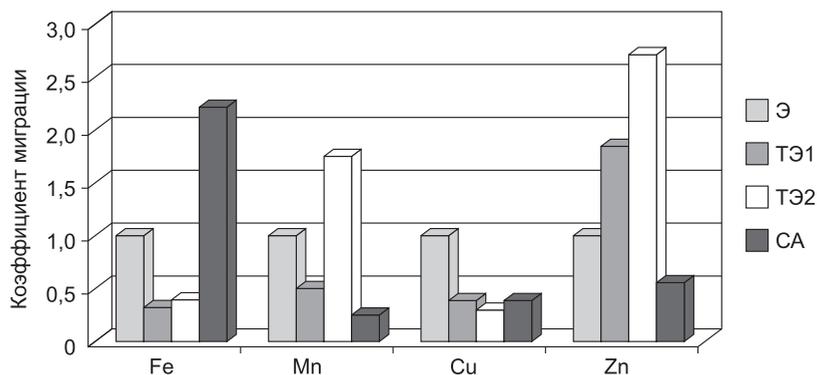


Рис. 2.5. Коэффициенты латеральной миграции химических элементов в почвах профиля оз. Тэслахато

татам обследования рядов фаций в пределах Тамбейской группы месторождений (северо-восточный Ямал), представлены в табл. 2.10.

Рассчитанные коэффициенты латеральной дифференциации свидетельствуют, что наиболее активными мигрантами являются свинец, марганец, цинк, имеющие положительные значения K_A . Латеральная миграция микроэлементов в значительной степени отражает их способности переходить в легкоподвижные формы (ионная форма, органоминеральные комплексы). Довольно активно мигрирует железо с последующей водородной аккумуляцией в подчиненных ландшафтах. Малоподвижны никель, хром, барий и медь.

В целом можно констатировать, что для геохимических ландшафтов арктических тундр характерна невысокая геохимическая контрастность. Значения K_A невелики, интенсивного перераспределения в ландшафтах не происходит вследствие заторможенности процессов миграции вещества, в частности, из-за доминирования физического выветривания над химическим.

Биогеохимические особенности субарктических тундр по сравнению с арктическими определяет более высокая теплообеспеченность, что находит свое выражение в большей фитомассе и более интенсивном биогеохимическом круговороте. В почвах хорошо развит торфяной геохимический барьер. Значительное разнообразие фитобиоты и вариативность литогенной основы создают значительное разнообразие ландшафтно-геохимических рядов. Одно из свойств ландшафтной структуры п-ова Ямал – широкие речные долины, значительно превышающие по своим размерам современные поймы. Поэтому одним из основных типов ландшафтно-геохимических рядов является водораздельно-долинный.

Закономерности пространственной дифференциации вещества в системе ландшафтно-геохимических рядов выясняются по результатам исследований Бованенковского месторождения и ландшафтов нижнего течения р. Нурмаяха. Относительно однородной является литогенная основа в южной части Бованенковского месторождения на ландшафтно-геохимическом профиле, простирающемся от нетеррасированного обрывистого берега р. Сеяха к поверхности водораздела через эрозионный останец и широкую заболоченную ложбину (рис. 2.6). Литогенная основа, представленная суглинистыми плейстоценовыми морскими и прибрежно-морскими отложениями, осложнена присутствием соли-

Таблица 2.10

Коэффициенты латеральной дифференциации для почв арктических тундр п-ова Ямал

Элемент	K_A
Fe	1,12
Mn	1,81
Cu	0,83
Zn	1,16
Pb	1,39
Co	1,01
Sr	1,03
Ba	0,94
Cr	0,81
Ni	0,70
P (P_2O_5)	1,20
K (K_2O)	0,98

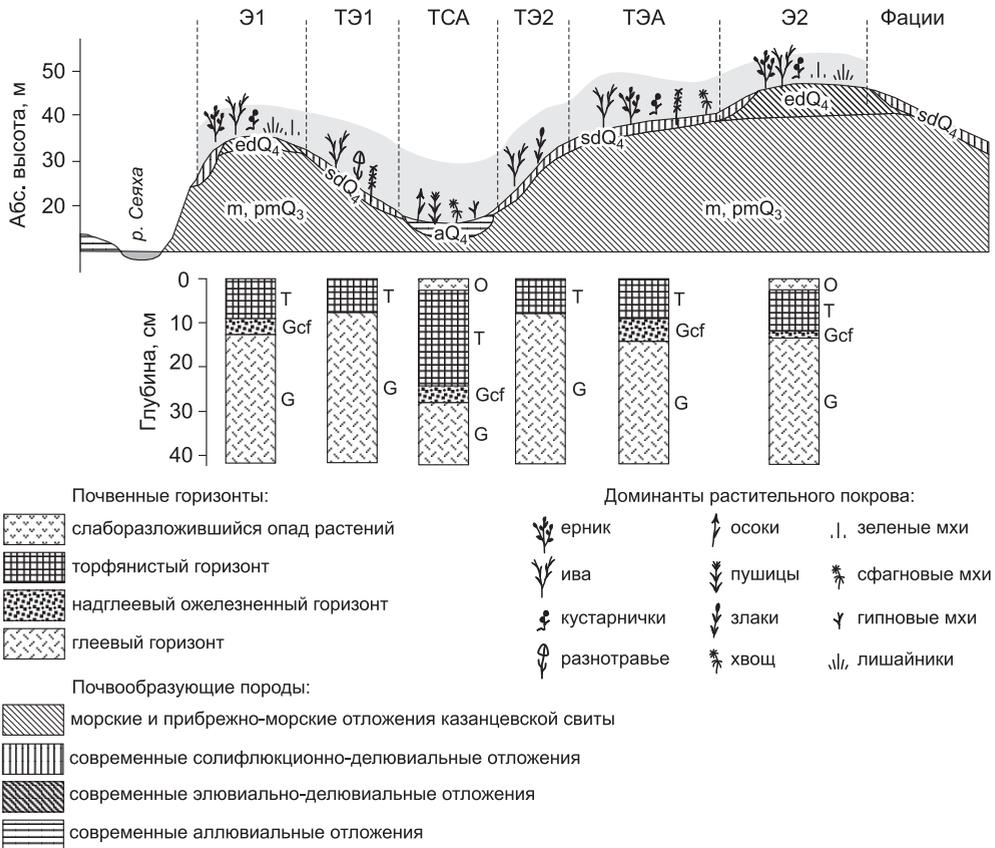


Рис. 2.6. Схема экспериментального ландшафтно-геохимического профиля: фации сопряженного ландшафтно-геохимического ряда:

- 1) элювиальная ивняково-ерниковая кустарничково-зеленомошно-лишайниковая слабонаклонной поверхности водораздельного увала на тундровых торфянисто-глеевых почвах (Э1);
- 2) трансэлювиальная ивняковая хвощево-разнотравная на тундровых глеевых почвах (ТЭ1);
- 3) трансупераквальная аккумулятивная осоково-пушицево-сфагново-гипновая на болотных торфянисто-глеевых почвах (ТСА);
- 4) трансэлювиальная склона водораздельного увала с ивняком мелкозлаковым на тундровых глеевых почвах (ТЭ2);
- 5) трансэлювиально-аккумулятивная выположенной поверхности перед водораздельным уступом с ивняково-ерниковой кустарничково-хвощево-зеленомошно-сфагновой растительностью (ТЭА);
- 6) слабонаклонная поверхность водораздела с ерниковой осоково-кустарничково-зеленомошно-лишайниковой бугорковатой тундрой на тундровых торфянисто-глеевых почвах (Э2)

флюкционных и элювиально-делювиальных пород, а в пределах обводненной террасы – голоценовыми аллювиальными отложениями.

Условия, определяющие миграционную активность веществ, следующие. Почвы кислые в верхней части профиля и слабокислые – в нижней ($pH_{\text{водн}} = 4,7-5,9$), мощность сезонного протаивания невелика и составляла в момент опробования 30–55 см в зависимости от толщины торфяного слоя. В почвах над глеевым горизонтом обычно наблюдаются частые прослои и пятна ожелезнения. Вычисленные коэффициенты латеральной дифференциации K_{λ} (коэффициенты вычислялись по отношению к содержанию элементов в почвах элювиальной фации водораздела – Э2) свидетельствуют, что ландшафтно-геохимическая структура характеризуется невысокой контрастностью, наиболее отчетливо выраженной для биогенных элементов. Особенно заметно снижение содержания марганца и цинка в почвах трансаккумулятивных и трансупераквальных фаций (табл. 2.11). Стабильным уровнем отличается хром, содержание которого слабо зависит от процессов латеральной миграции, что свидетельствует о его малой миграционной активности. В гидроморфных условиях отмечено увеличение концентраций кобальта и меди, а также незначительное возрастание содержания никеля. Миграция этих элементов происходит совместно с миграцией железа. Обращает на себя внимание концентрирование стронция в почвах трансэлювиальных фаций. Стронций, являющийся типичным катионогенным элементом, легко мигрирует в гумидных кислых ландшафтах, и его задержка в почвах трансэлювиальных фаций, очевидно, связана с сорбционным глинистым барьером.

Общее свойства ландшафтов кислого глеевого класса – вынос Fe^{2+} из оглеенных почв проявляется на обследованном участке весьма отчетливо. Минимальные концентрации железа свойственны почвам плоских заболоченных водоразделов и низкого прируслового уровня поймы.

Таблица 2.11

Коэффициенты латеральной дифференциации микроэлементов в почвах ландшафтно-геохимического профиля в южной части Бованенковского месторождения (п-ов Ямал)

Элемент	Фация					
	Э1	ТЭ1	ТСА	ТЭА	ТЭ2	Э2
Mn	0,9	0,8	0,6	0,4	0,9	1,0
Ba	1,0	0,8	1,1	0,8	0,8	1,0
Cr	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0
Zn	0,9	0,8	0,4	0,4	0,8	1,0
Sr	0,9	1,4	0,9	1,3	1,6	1,0
Ni	1,0	1,1	1,1	1,2	1,1	1,0
Cu	1,1	0,9	1,2	1,0	0,9	1,0
Co	1,0	1,1	1,2	0,9	1,1	1,0
Pb	1,0	0,8	1,0	1,0	0,8	1,0

Максимальное содержание Fe отмечено в заболоченных ложбинах стока, в почвах высоких террас. Сходным образом распределяется в почвах и марганец, максимальные концентрации которого отмечены в почвах незатапливаемых древнеаллювиальных террас. Концентрация цинка максимальна в травяно-кустарниковых тундровых сообществах высокого уровня поймы. Таким образом, почвы террас являются геохимическим барьером, принимающим потоки веществ из элювиальных ландшафтов. Вместе с тем для почв террас не характерен вынос, свойственный аллювиальным почвам низкого уровня. Содержание в почвах общего азота обратно пропорционально величине pH: максимальны запасы азота в наиболее кислых почвах. При анализе ландшафтно-геохимического сопряжения отмечается тенденция к снижению запасов фосфора в полугидроморфных и гидроморфных почвах пойм, низких террас по сравнению с почвами водоразделов. Распределение подвижного калия в ряду геохимически соподчиненных ландшафтов неоднозначно: в ряде случаев наблюдается возрастание запасов калия в почвах водоразделов, в других случаях максимальные концентрации отмечаются в условиях трансэлювиальных склоновых ландшафтов.

Описанные закономерности латеральной дифференциации вещества проявляются и в южных субарктических тундрах, в частности на юге Тазовского п-ова, где закономерности миграции веществ рассмотрены на примере сопряженного ряда фаций в районе Уренгойского месторождения. На описываемом участке возвышенные, хорошо дренированные участки элювиальных фаций (Э) заняты кустарничково-лишайниковыми тундровыми сообществами, произрастающими на песчаных почвах с маломощным органометным горизонтом и слабым проявлением оглеения. Трансэлювиальные фации широких ложбин стока (ТЭ) характеризуются развитием мезофитных травяно-кустарничково-моховых сообществ, кустарниковый ярус которых, представленный ивой и ерником, развит в верхних частях склонов. Трансупераквальные фации речной поймы (ТСА) представлены ивняковыми разнотравно-моховыми сообществами в прирусловой части, травяно-осоковыми, осоково-сфагновыми переувлажненными болотами на плоских участках и злаково-травяно-моховыми луговинами в присклоновой части.

Показатели латеральной дифференциации свидетельствуют о закономерном возрастании содержания свинца и цинка в почвах подчиненных фаций, концентрации меди, марганца и никеля минимальны в почвах трансэлювиальных фаций (рис. 2.7). Общая геохимическая контрастность немного выше, чем в почвах арктических и типичных субарктических тундр.

Таким образом, по результатам изучения вертикальной и латеральной ландшафтно-геохимической структуры тундр Западной Сибири можно сделать вывод, что наиболее активными мигрантами в системе геохимически сопряженных ландшафтов являются марганец, цинк, железо, свинец. Железо выносятся из глеевых горизонтов почв элювиальных, трансэлювиальных фаций и оседает на окислительных барьерах,

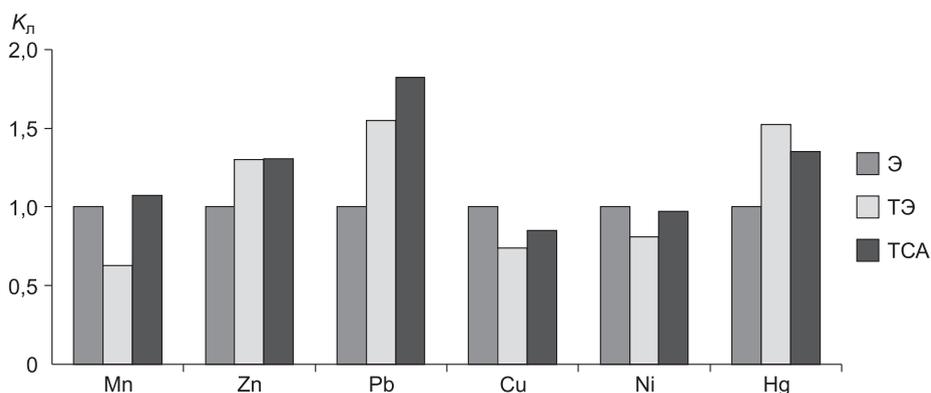


Рис. 2.7. Коэффициенты латеральной дифференциации в почвах южных субарктических тундр

которые свойственны нижним частям склонов. Часто железо накапливается в почвах супераквальных фаций. Однако при определенных условиях (высокая оглеенность, боковой сток) может происходить его вынос с осадждением вблизи уреза воды. Сходным образом распределяются в системе ландшафтно-геохимических сопряжений кобальт и медь. В распределении марганца наблюдаются отличия, связанные с особенностями биогенной и водной миграции этого элемента. Стабильно высокие концентрации марганца в почвах водоразделов с зональными вариантами кустарниковых тундр, также наблюдается возрастание содержания Mn в органогенных горизонтах высоких приречных террас. Распределение цинка не отличается стабильностью в системе миграционных рядов: иногда максимальные концентрации свойственны почвам водоразделов, иногда содержание этого элемента закономерно увеличивается от водораздела к пойме, что связано с особенностями миграции цинка в кислых водах и накопления на гумусовом и торфяном геохимических барьерах. При малой мощности органогенных горизонтов, свойственной почвам на песчаных породах, цинк активно мигрирует, и его содержание в подчиненных фациях выше. Подобное распределение цинка было отмечено И.Ю. Арестовой [10] в почвах Уренгойских тундр. Если почвы плоских слабодренированных водоразделов содержат значительное количество органического вещества, концентрации цинка в них выше, чем в подчиненных фациях.

Конечным звеном в системе миграции вещества являются субаквальные ландшафты. Состав вод и донных отложений можно рассматривать как отражение всей ландшафтно-геохимической структуры водосборного бассейна. Состав донных отложений формируется в результате поступления как в форме взвесей, так и с ионным стоком при заметном преобладании взвешенных форм.

Выполненные на различных участках п-ова Ямал исследования свидетельствуют, что состав донных отложений весьма разнообразен. Значительные различия характерны и для физико-химических пара-

метров, и для микроэлементного состава. Реакция среды изменяется в широких пределах, от кислой до слабощелочной. В озерах реакция сдвинута в сторону подщелачивания по сравнению с реками. На возвышенных слабозаболоченных участках морских террас, сложенных песчаными породами, донные отложения менее кислые, чем на участках приморских низин. Как и для почв, существует тенденция к подкислению при движении к югу, что связано с увеличением фитомассы в субарктических тундрах по сравнению с арктическими и с возрастанием скорости биохимических процессов, приводящих к формированию органических кислот. Щелочные значения pH отмечены в донных отложениях озер арктических тундр. В устьевых частях рек донные отложения часто засолены, что связано со сгонно-нагонными явлениями и поступлением в реки соленых морских вод. В озерах засоленных донных осадков зафиксировано не было.

Микроэлементный состав донных отложений весьма беден, концентрация практически всех микроэлементов ниже кларка (рис. 2.8).

В пределах Тамбейской группы месторождений (северо-восточная часть п-ова Ямал) содержание практически всех микроэлементов (за исключением хрома и никеля) меньше, чем в западной части Ямала. Особенно сильно проявляются различия для элементов, которые относятся к элементам биологического накопления. Содержание марганца в донных отложениях Бованенковского месторождения изменяется от 100 до 1300 мг/кг, Тамбейской группы месторождений – от 20 до 830 мг/кг.

Концентрация меди в донных отложениях изменяется в пределах от 1 до 20 мг/кг, что многократно ниже кларка литосферы. Наиболее низкие концентрации меди, близкие к уровню аналитического нуля, отмечены в пределах Западно-Тамбейского месторождения и прилегаю-

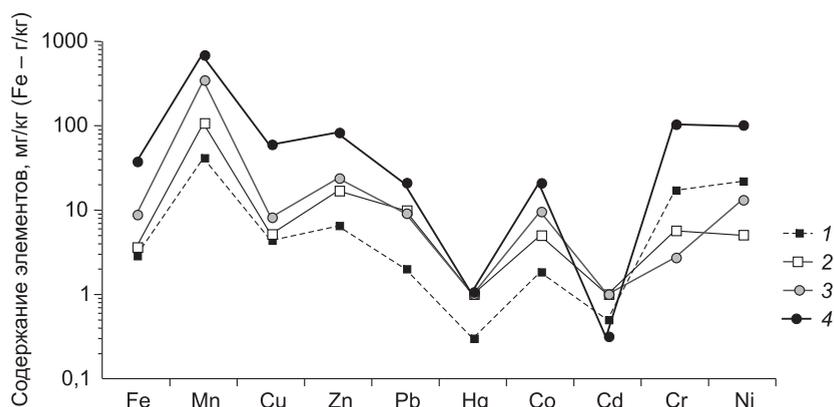


Рис. 2.8. Элементный состав донных отложений различных участков п-ова Ямал:

месторождения: 1 – Тамбейское, 2 – Харасавэйское, 3 – Бованенковское; 4 – кларк осадочных пород

щей территории. Данный участок, орографически высоко расположенный, представляет собой область преимущественного выноса веществ.

Для цинка характерна высокая изменчивость его концентраций, они изменяются в донных отложениях водных объектов п-ова Ямал от менее 1 до 53 мг/кг. Минимальным уровнем характеризуются донные отложения Тамбейской группы месторождений (в среднем 6,5 мг/кг). Главный фактор варьирования – изменение минералогического состава и различия в содержании органики. Максимальная концентрация цинка связана с присутствием в донных отложениях большого количества органических остатков, в том числе частиц торфа, вымываемых из почв. Об этом свидетельствует сильная корреляционная зависимость между концентрацией цинка и содержанием азота и калия. Также существует зависимость концентрации цинка от содержания Fe, Mn, Co, что говорит о влиянии минералогического состава и окислительно-восстановительных условий.

Свинец, как правило, интенсивно накапливается в донных отложениях, причем тонкодисперсные донные отложения содержат свинца больше, чем грубодисперсные, повышено содержание свинца в отложениях с большим количеством органики [266]. На обследованных участках п-ова Ямал концентрация свинца в донных отложениях находится на относительно низком уровне (от 1 до 15 мг/кг), причем преобладают значения менее 5 мг/кг. Повышено содержание свинца в донных отложениях озер по сравнению с донными отложениями рек, что объясняется большим количеством детрита. Наблюдается крайне большой разброс содержания в донных отложениях Ямала таких элементов, как никель и хром. В ряде случаев выявлены довольно высокие концентрации этих элементов, превышающие кларк литосферы. Ранее были установлены повышенные концентрации Cr, Co, Ni в поверхностных отложениях Ямала [120]. Таким образом, причиной высокой вариабельности является литологический фактор.

Рассмотренные закономерности латеральной и радиальной дифференциации вещества, как отмечалось ранее, зависят от двух основных процессов, векторов развития – биогенной и водной миграции. Изучение их соотношения представляет собой задачу большой практической значимости, поскольку дает возможность прогнозировать длительные тренды развития геосистем. С этой целью были рассчитаны миграционные коэффициенты, характеризующие интенсивность перехода элементов из пород и почв в поверхностные воды: коэффициенты водной миграции K_x , местной водной миграции K_{xm} . Результаты подсчетов суммированы в табл. 2.12.

Характерно, что миграционные коэффициенты остаются сходными для различных обследованных участков. По сравнению со средними показателями K_x для вод зоны гипергенеза [170] в водах тундр Западной Сибири значительно активнее мигрируют железо и марганец, показатель K_x которых выше среднего более чем на один математический порядок. Миграционная активность меди варьирует на разных участ-

Таблица 2.12

**Содержание элементов и коэффициенты водной миграции
в поверхностных водах тундровой зоны Западной Сибири
(п-ов Ямал)**

Показатель	Mn	Fe	Cu	Ni	Pb	Cr	Zn	Hg
<i>Харасавэйское месторождение (арктические тундры)</i>								
M , мкг/дм ³	421	11479	8,6	4,0	0,25	1,8	22,6	0,05
K_x	2,4	1,4	1,1	0,4	0,1	0,1	1,6	0,4
K_{xM}	3,1	4,4	1,3	0,3	0,1	0,1	1,6	0,3
<i>Бованенковское месторождение (субарктические тундры)</i>								
M , мкг/дм ³	243	6386	16,1	2,8	0,20	1,3	20,9	0,05
K_x	2,6	1,5	3,6	0,5	0,1	0,2	2,7	0,6
K_{xM}	2,1	2,7	3,1	0,3	0,1	0,2	1,2	0,5

Примечание. Средняя минерализация вод на территории Бованенковского месторождения составила 162 мг/дм³, Харасавэйского – 175 мг/дм³.

ках, достигая максимальных значений в водах Бованенковского месторождения, где показатель K_x превышает среднее значение в 8 раз. Это связано с литологическим фактором – микроэлементный состав почвообразующих пород здесь гораздо богаче, чем на сопредельных территориях. Незначительно превышают средний уровень никель, кобальт и цинк. Таким образом, активность водной миграции элементов уменьшается в ряду Fe–Mn–Zn–Cu–Ni–Hg–Pb–Cr для вод Харасавэйского месторождения и Cu–Fe–Mn–Zn–Hg–Ni–Cr–Pb для вод Бованенковского. Сходные показатели миграционной активности элементов в более южных широтах обуславливают тот факт, что в поверхностных водах Пур-Тазовского и Таз-Енисейского междуречий содержание железа в 40 раз, марганца в 8, никеля в 11 и кобальта в 5 раз превышает среднемировые показатели [212]. Наиболее активными водными мигрантами проявляют себя марганец и железо, что соответствует высокой подвижности этих элементов в ландшафтах кислого глеевого класса. Также активно мигрируют медь и цинк, подвижность которых возрастает в кислой среде. Никель, свинец, хром и ртуть характеризуются, в соответствии с классификацией А.И. Перельмана, как элементы средней интенсивности миграции, однако по сравнению со средними значениями для вод зоны гипергенеза их подвижность повышена. Ранжирование по степени подвижности близко к данным В.М. Питулько [173] об интенсивности миграции элементов в надмерзлотных водах с той разницей, что, по нашим данным, большей активностью отличается железо.

Миграционная активность элементов значительно варьирует в зависимости от ландшафтных условий. Так, в истоках и средних течениях рек, располагающихся в пределах возвышенных эрозионных морских террас, по сравнению с устьевыми участками, расположенными на приморской низине (лайде), значительно выше коэффициенты мигра-

Таблица 2.13

Коэффициенты водной миграции (K_x) химических элементов в различных ландшафтных условиях

Участок	Элемент														
	Cl	Na	K	Mn	Si	Al	Fe	Ca	Mg	Cu	Ni	Hg	Pb	Cr	Zn
Эрозионно-морские террасы	902	4,6	1,1	2,3	0,1	0,5	1,6	0,7	1,8	2,5	0,5	5,9	0,11	0,16	2,7
Приморская лайда	1800	6,3	1,2	1,5	0,03	0,2	0,7	0,4	1,3	0,8	0,2	2,0	0,04	0,06	0,7

ции большинства микро- и макроэлементов, за исключением хлора, натрия и калия (табл. 2.13).

Таким образом, по интенсивности и типу миграционной активности выделяются четыре группы элементов (рис. 2.9):

- 1) элементы активной водной и слабой биогенной миграции (Fe, Cu);
- 2) элементы активной биогенной и повышенной водной миграции (Mn, Zn);
- 3) элемент умеренной биогенной и слабой водной миграции (Pb);
- 4) малоподвижные элементы (Cr, Ni, Co).

Механическая миграция вещества в значительной степени влияет на формирование состава донных отложений водотоков, поскольку основная форма миграции многих микро- и макроэлементов – взвеси. В реках гумидной зоны Западной Сибири преимущественно в форме взвесей мигрируют хром, марганец, железо, кремний, ванадий, алюминий, титан, цирконий [104]. По данным, полученным нами на п-ове Ямал, дифференциация вещественного состава субаквальных ландшафтов по сравнению с ландшафтами наземными проявляется в активном накоплении донными осадками свинца, ртути и кадмия (табл. 2.14). Довольно слабо в донных осадках накапливаются элементы, активно перераспределяющиеся в соподчиненных наземных фациях, и активные мигранты в поверхностных водах – железо, медь и марганец.

Различия в миграционной активности элементов в суб- и супераквальных ландшафтах, несоответствие миграционных коэффициентов для донных отложений и вод свиде-

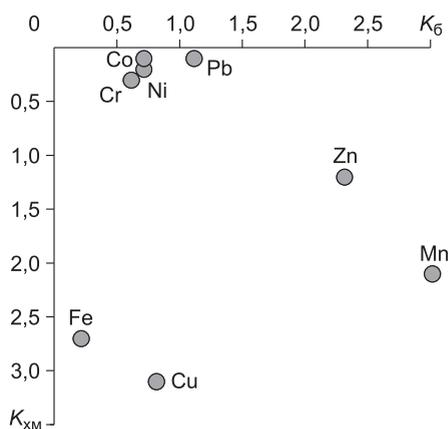


Рис. 2.9. Соотношение коэффициентов биогенной и водной миграции для тундровых ландшафтов Бованенковского месторождения (п-ов Ямал)

Таблица 2.14

**Коэффициенты супераквальной латеральной дифференциации (K_{ca})
для системы донные отложения–почва**

Участок	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Hg	Co	Cd	Sr
Харасавэйское ГКМ	1,1	0,8	0,9	1,3	3,0	1,3	0,9	2,0	0,6	2,0	1,4
Тамбейская группа месторождений	0,6	0,7	0,6	0,7	1,0	0,7	0,5	–	0,6	1,2	–
Бованенковское ГКМ	0,9	0,6	0,6	0,9	2,1	1,4	0,8	1,7	0,6	1,4	0,9
Крузенштерновское ГКМ	1,1	0,6	0,6	1,0	1,9	1,0	1,0	2,0	0,6	2,0	1,1
Нижнее течение р. Нур-маяха	0,8	1,0	0,6	1,0	1,1	0,8	0,7	–	0,8	1,2	–

Примечание. Прочерк – элемент не определен.

тельствуют о том, что формирование состава донных отложений идет преимущественно за счет твердой фракции, а не выноса в составе водных растворов. Таким образом, преобладающим фактором является механическая миграция вещества, механогенез. Его роль весьма велика и в формировании литогенной основы ландшафта. Переувлажненные, часто льдистые отложения подвержены активной механической миграции, в результате чего образуются кластические отложения – делювий (часто солифлюкционный), пролювий, покрывающие склоновые участки водораздельных увалов. Марганец, несмотря на его высокую подвижность, также слабо накапливается в донных осадках. Биогенная аккумуляция этого элемента в почвах всех звеньев ландшафтно-геохимических катен ослабляет его вынос в водные объекты. Свинец имеет высокие показатели латеральной миграции для почв и для системы почвы–донные отложения, таким образом, существует единая направленная миграция этого элемента от автономных ландшафтов в подчиненные, включая конечное звено – субаквальные ландшафты. Поскольку в водных растворах миграционная активность свинца низка, главная форма миграции свинца – взвеси.

Таким образом, почвы тундр Западной Сибири отличаются преимущественно слабокислой реакцией среды, низкими запасами азота, малой емкостью катионного обмена и небольшой суммой поглощенных оснований. Микроэлементный состав почв, как правило, беден, особенно в северо-восточной части п-ова Ямал, где содержание микроэлементов в большинстве случаев составляет десятые доли кларка. Максимально содержание микроэлементов в почвах, развитых на морских породах тяжелого механического состава, распространенных в центральной части полуострова; минимально – в почвах, сформировавшихся на песчаных отложениях аллювиально-морских террас северо-востока Ямала. Можно констатировать, что важнейшую роль в формировании состава почв играет литологический фактор. Важнейшим процессом, определяющим ландшафтно-геохимическую структуру и состав почв, является

биологический круговорот. В торфяных горизонтах болотно-тундровых, болотных и тундровых торфянисто-глеевых почв накапливаются марганец, цинк, свинец. В аллювиальных почвах на окислительном барьере происходит накопление железа.

Латеральная контрастность ландшафтно-геохимических комплексов выражена довольно слабо, наиболее интенсивно мигрирует марганец, а в супераквальных условиях – свинец и кадмий. Химические свойства почв формируются преимущественно под влиянием природных факторов: состава почвообразующих пород, геоморфологических и климатических условий, особенностей биологического накопления микроэлементов, характера геохимических барьеров. Бедный микроэлементный состав, невысокая геохимическая контрастность являются, по Перельману [169], признаками низкой самоорганизации геосистем, что предопределяет их слабую устойчивость к воздействиям различного типа.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАНДШАФТОВ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ

3.1. Ландшафтные факторы миграции и аккумуляции веществ

Ландшафтно-геохимические особенности таежной зоны Западной Сибири в значительной степени определяются повсеместной переувлажненностью и заболоченностью. Эта зона Западной Сибири с полным основанием может быть названа лесоболотной [50, 128]. Замедленный поверхностный сток в условиях слаборасчлененного рельефа определяет обширную заболоченность, проявляющуюся как на положительных, так и на отрицательных формах рельефа. Подсчитано, что болота занимают в Западной Сибири около 1 млн км², или 36 % от всей площади; столь обширная заболоченность делает этот регион уникальным феноменом планетарного масштаба [146]. Известно, что болотные системы обладают способностью к саморазвитию, разрастанию, поскольку всякий длительно существующий болотный комплекс обеспечивает подъем уровня грунтовых вод на прилегающих территориях [113]. Само существование обширных болот является фактором заболачивания до тех пор, пока система обратных связей (отток влаги с выпуклых верховых болот) не обеспечит стабилизацию процесса.

Постоянное переувлажнение обуславливает активную водную миграцию вещества как в ионной, так и во взвешенной форме. Как было отмечено А.И. Перельманом [167], грунтовые воды в таежной зоне содержат много органических веществ, так как в процессе неполного разложения растительных остатков образуются растворимые органические кислоты, причем наиболее энергично идет образование фульвокислот, нейтрализация которых происходит в значительной степени за счет железа и алюминия почвенных минералов и зольных элементов (Ca, Mg, Na, K). В растительном опаде темнохвойных таежных лесов кислотные органические соединения в десятки раз превышают количества катионов золы и азота, дающих основания. Низкое содержание сильных оснований в золе при отсутствии их подвижных форм в горных породах обуславливают кислый характер почвенных растворов.

В формировании химических свойств внутрипочвенных и поверхностных вод тайги главную роль играет разложение органических веществ, поэтому среди катионов преобладает кальций, а среди анионов – HCO_3^- . Балансовые расчеты содержания кальция и магния в почве и фитомассе таежных лесов позволили сделать вывод, что элювиирование почв связано с отчуждением биогенных элементов из слоя 0–20 см растительностью, причем половина элементов, отчуждаемых из почв, содержится в биомассе, а остальное количество вымывается поверхностным и внутрипочвенным стоком [181]. По особенностям водной мигра-

ции в зоне гипергенеза в автономных условиях территория таежной зоны Западной Сибири относится к кислому глеевому (реже – кислому) классу геохимических ландшафтов, к роду с медленным водообменом, частым преобладанием химической денудации над механической, с постепенной границей между автономными и подчиненными ландшафтными подразделениями [233].

Ландшафты таежной зоны по сравнению с тундровыми отличаются более интенсивным метаболизмом. Продуктивность таежных ценозов, согласно данным Л.Е. Родина и Н.И. Базилевич [186], превышает продуктивность субарктических тундр в 2–5 раз, а емкость биологического круговорота – приблизительно в 4 раза. Следовательно, таежные ландшафты имеют более высокий уровень самоорганизации, по Перельману [169], зависящий от биомассы и продукции. Геохимический метаболизм в таежных ландшафтах направлен на сохранение биологически активных элементов, без которых невозможно функционирование биогеоценозов. Устойчивость ландшафтов в таежной зоне связана с процессами продуцирования и трансформации органического вещества, т. е. с биологическим круговоротом, БИКом, по определению А.И. Перельмана. Однако БИК наиболее подвержен изменениям под влиянием антропогенных факторов, связанных с использованием растительных ресурсов, техногенно-химическим прессом [149]. Нарушение процессов биологической аккумуляции (например, в случае крупномасштабного нарушения растительного покрова при строительстве, буровых работах) приводит к выносу химических элементов грунтовыми водами и обеднению почв. Трансформация фитобиоты и изменение биологического круговорота приводит к понижению уровня самоорганизации ландшафта и уменьшению его устойчивости.

3.2. Закономерности распределения химических элементов в почвах

При характеристике региональных ландшафтно-геохимических особенностей были поставлены следующие задачи: выявление специфики распределения химических элементов в различных типах почв (в первую очередь доминирующих в структуре почвенного покрова); определение форм нахождения элементов; выявление доли подвижных форм, вовлекаемых в миграцию и воздействующих на метаболические процессы; районирование территории в соответствии с особенностями химического состава геосистем. Поставленные задачи невозможно решить без выяснения основных закономерностей формирования состава почв.

Общие принципы классификации почв холодных гумидных областей, к которым относится северная часть Западной Сибири, разработаны В.О. Таргульяном [221]. В соответствии с этими принципами выделяются две надтиповые морфогенетические группы почв:

- почвы свободного дренажа, развитые преимущественно на породах легкого механического состава, в которых избыточность осадков не ведет к переувлажнению почвенного профиля;

- почвы затрудненного дренажа, развитые на глинах, суглинках, слоистых супесчано-суглинистых отложениях, в которых интенсивно развивается процесс оглеения.

По особенностям геохимической структуры почв Западной Сибири И.П. Гавриловой с соавторами [45] выделены две группы:

- группа почв со слабой геохимической дифференциацией. Для них не характерны различные геохимические барьеры, на которых аккумулируются вещества. К данной группе отнесены подзолы, в которых выражен только один барьер на границе подзолистого и иллювиального горизонта;

- почвы с четкой геохимической дифференциацией профиля, вызванной развитием поверхностного и грунтового оглеения, гумусообразования, элювиирования.

Формирование структуры почвенного покрова таежной зоны Западной Сибири и его химического состава в значительной степени определяется интенсивностью и соотношением следующих элементарных процессов почвообразования: торфонакопления в условиях низких температур и медленной минерализации органических остатков; Al-Fe-гумусового процесса, приводящего к выносу химических элементов и их соединений под влиянием промывного режима; накопления гумуса и развития гумусового горизонта при близких к оптимуму сочетании тепла и увлажнения; глеевого процесса при низкой аэрации почвенной толщи в условиях избыточного увлажнения. Отметим, что подзолистый процесс иногда рассматривается как частное проявление процесса глеегенеза [83].

Систематика почв таежной зоны Западной Сибири не вполне разработана, принадлежность к той или иной таксономической единице является предметом дискуссии [1]. Причина этого – в довольно слабой изученности почв труднодоступных до недавнего времени территорий и в специфике почвообразовательного процесса, в результате которого почвенный профиль зачастую не имеет четкого деления на почвенные генетические горизонты. Сочетание сложных генетико-географических условий определило высокое разнообразие и специфичность почв Западно-Сибирской равнины, существенно отличающихся от “европейских почвенных стандартов”, на которых развивалось генетическое почвоведение [78].

Физико-химические свойства таежных почв благоприятствуют активной миграции большинства микроэлементов. Почвы характеризуются кислой реакцией среды, преобладанием фульвокислот, ненасыщенностью основаниями. Они часто содержат достаточные для развития растений количества подвижного фосфора, но обеднены соединениями азота. Некоторые физико-химические показатели основных типов почв, полученные по результатам исследований в пределах Ханты-Мансийского автономного округа, представлены в табл. 3.1.

На песчаных и супесчаных почвообразующих породах широко распространены подзолы, формирование которых происходит в результате Al-Fe-гумусового процесса. Подзолы доминируют на возвышенностях

Таблица 3.1

Физико-химические свойства основных типов почв ХМАО-Югры
($M \pm m$)

Показатель	Подзолы иллювиально-железистые	Подзолы глеевые	Глееподзолистые	Органо-криометаморфические	Болотные верховые	Аллювиальные
pH _{водн}	5,0 ± 0,2	4,6 ± 0,1	5,7 ± 0,2	5,2 ± 0,3	4,9 ± 0,3	5,3 ± 0,2
Гигровлага, %	2,9 ± 1,6	3,0 ± 0,9	2,8 ± 0,6	5,5 ± 0,9	6,8 ± 2,3	4,0 ± 0,7
Органическое вещество, %	4,6 ± 3,7	4,1 ± 3,1	3,4 ± 1,2	19,0 ± 3,5	39,0 ± 32	4,4 ± 2,9
Фосфор подвижный (P ₂ O ₅), мг/кг	172 ± 150	242 ± 65	164 ± 50	177 ± 17	118 ± 56	110 ± 53
Азот нитритный, мг/кг	2,9 ± 0,5	5,2 ± 2,3	2,7 ± 0,5	7,4 ± 1,2	11,3 ± 3,0	3,3 ± 0,4

Примечание. Общее число проанализированных проб $n = 150$.

Сибирских Увалов, в междуречье Агана и Ваха, очень часто встречаются на высоких террасах вдоль крупных рек (Казым, Аган, Тромъеган). В автономных ландшафтно-геохимических комплексах тайги на песчаных подзолах физико-химические барьеры для большинства подвижных элементов выражены слабо, вынос веществ преобладает над накоплением. Характерной чертой химического состава иллювиально-железистых подзолов является абсолютное преобладание кварца в минеральном составе. Количество полуторных окислов Al и Fe не превышает 1–3 % [74].

Распределение окислов железа и алюминия имеет четкую элювиально-иллювиальную дифференциацию: в верхних горизонтах их содержание минимально, накопление происходит в наиболее тяжелом по гранулометрическому составу горизонте. Такое перераспределение в профиле автоморфных подзолов полуторных окислов и гумуса говорит об интенсивно идущих процессах мобилизации железа и алюминия минеральных пленок кислыми гумусовыми веществами и их последующего выноса, без глубокого разрушения силикатной части в элювиальном горизонте – в этом заключается суть проявления Al-Fe-гумусового процесса [201]. Автоморфные подзолы характеризуются очень низким содержанием гумуса, содержание гуминовых и фульвокислот в почвах не превышает 1–2 % в верхней части профиля [16]. Исследование группового состава гумуса свидетельствует о его фульватной природе. Фульвокислоты преобладают как в растворимой части органогенных горизонтов, так и в растворимой части гумуса минеральных горизонтов, где соотношение C_r/C_{ϕ} равно 0,25–0,05 [201]. На супесчаных и легкосуглинистых почвах в условиях проточного увлажнения усиление процесса гумусообразования приводит к формированию подзолов иллювиально-гумусовых. Данный тип почв широко распространен в светлохвойно-темнохвойных лесах с хорошо развитым травяно-кустарничковым ярусом. Для иллювиально-гумусовых подзолов характерно присутствие под

Таблица 3.2

**Физико-химические свойства иллювиально-гумусового подзола
(возвышенность Сибирские Увалы, природный парк “Нумто”)**

Горизонт	рН _{водн}	Гумус, %	K ₂ O, мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	Mg	Ca
					мг-экв./100 г почвы	
О	4,05	43,9*	223	53	0,095	0,25
Е	5,61	1,05	<40	2	0,052	0,086
ВН	4,51	2,41	<40	66	0,034	0,16
ВГ	5,04	0,75	<40	98	0,026	0,15
ВС	4,94	0,44	<40	18	0,01	0,1

* Потери при прокаливании.

белесым песчаным горизонтом Е темно-бурого иллювиального горизонта ВН. Содержание гумуса в горизонте ВН достигает 1,8–2,4 %. В верхней части профиля в составе гумуса преобладают гуминовые кислоты, а во всех иллювиальных горизонтах – фульвокислоты. Почвы кислые (рН = 4,05–5,6), содержат мало обменных оснований. Наименьшей величиной рН характеризуются поверхностные органогенный и иллювиально-гумусовый горизонты (табл. 3.2).

Исследование микроэлементного состава подзолов было проведено на участках, охватывающих различные подзоны западно-сибирской тайги – от северного ее предела (район Ново-Уренгойского месторождения) до южной тайги (террасы р. Демьянка). Как показали исследования состава разных генетических горизонтов, распределение микроэлементов в профиле иллювиально-железистых подзолов имеет отчетливо выраженный элювиально-иллювиальный характер и коррелирует с распределением гумусовых веществ и окислов железа. Наблюдается обеднение поверхностной части профиля такими элементами, как Cr, Ni, Mn, Co, Zn, что связано с разрушением минералов и перемещением илстой фракции, которая в незначительных количествах присутствует в подзолах. За счет биологического накопления в напочвенном опаде накапливаются цинк и марганец, иногда свинец. Внутривертикальное распределение микроэлементов остается сходным для подзолов в разных географических районах.

Сходство распределения микроэлементов в вертикальном профиле подзолов, сформированных на песчаных отложениях водно-ледникового генезиса, позволило рассчитать средние показатели состава отдельных почвенных генетических горизонтов (табл. 3.3).

По сравнению с условным мировым кларком почв (по Виноградову [106]), содержание микроэлементов во всех почвенных генетических горизонтах очень мало (десятые доли от величин кларка). Исключение составляет цирконий – чрезвычайно стабильный элемент почвенных минералов, концентрация которого находится на уровне кларка во всех почвенных горизонтах. В напочвенной подстилке накапливаются Mn, Zn, Pb. Если сравнить приведенные параметры со средними значениями

Таблица 3.3

Содержание микроэлементов в иллювиально-железистых подзолах Тюменской области ($M \pm m$), мг/кг

Элемент	Почвенный горизонт			
	O	E	BF	C
Mn	5670 ± 525	280 ± 18	1220 ± 86	860 ± 49
V	45 ± 4,3	18,6 ± 1,4	29 ± 1,8	35 ± 2,6
Ti	2070 ± 98	3051 ± 123	3381 ± 191	3548 ± 165
Cr	72 ± 4,8	51,6 ± 2,6	91 ± 7,1	281 ± 11,6
Zr	270 ± 8,9	392 ± 11	298 ± 9,9	357 ± 7,2
Y	30 ± 1,8	46 ± 3,2	38 ± 2,7	27 ± 1,9
Sc	17 ± 0,6	28 ± 2,1	32 ± 2,3	He опр.
Ba	385 ± 22	146 ± 11	282 ± 17	253 ± 16
Sr	71 ± 5,2	60 ± 4,7	79 ± 8,1	171 ± 11,7
Li	2,1 ± 0,2	7,7 ± 0,6	8,2 ± 0,6	12,1 ± 0,9
Ni	7,3 ± 0,5	8,8 ± 0,4	12,7 ± 0,6	36 ± 0,9
Co	2,8 ± 0,2	4,1 ± 0,2	6,3 ± 0,4	8,1 ± 0,5
Mo	0,73 ± 0,06	0,91 ± 0,08	2,2 ± 0,2	2,7 ± 0,2
Cu	18 ± 0,8	13,1 ± 0,6	17,6 ± 0,6	22 ± 0,7
Zn	132 ± 12	25 ± 1,9	51,2 ± 2,9	41 ± 2,6
Pb	72 ± 6	8,1 ± 0,6	12,1 ± 0,7	13,1 ± 0,9
Sn	0,41 ± 0,04	0,36 ± 0,03	0,44 ± 0,04	0,82 ± 0,06
Ga	4,8 ± 0,3	5,5 ± 0,4	4,3 ± 0,2	3,9 ± 0,3

Примечание. Количество проанализированных проб $n = 135$.

ми для подзолистых почв [Ковда и др., 1959, цит по: 216], то можно отметить высокое содержание в подстилке марганца и цинка и низкое – молибдена. Низкие содержания микроэлементов в подзолах обусловлены рядом факторов: особенностями минералогического состава пород, состоящих из кварцевого песка, малым содержанием гумусовых веществ, промывным водным режимом, слабой выраженностью геохимических барьеров.

Определение кислоторастворимых (1н HCl) форм тяжелых металлов показало, что максимальный миграционный потенциал характерен для никеля, меди и свинца (табл. 3.4). Кислоторастворимые формы Mn и Zn

Таблица 3.4

Содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов (1н HCl) в поверхностном горизонте подзолов Тюменской области, мг/кг ($n = 85$)

Показатель	Mn	Zn	Pb	Cu	Ni
$M \pm m$	17,3 ± 2,4	2,7 ± 0,4	2,2 ± 0,5	3,4 ± 0,3	2,4 ± 0,3
min-max	0,25-35,4	0,22-5,58	0,04-9,59	0,82-11,7	0,34-8,36
% от валового содержания	12,0	13,0	24,4	27,6	42,1

составляют соответственно 12 и 13 % от валового содержания, т. е. эти элементы прочно связаны с кристаллической решеткой минералов. Сходные показатели были определены в почвах Европейского севера России Л.В. Алещукиным [6].

Усиление гидроморфности приводит к закономерной смене доминирующих типов почв и почвенных структур. На расчлененных, умеренно дренируемых водоразделах под елово-кедровыми, сосново-кедровыми с березой кустарничково-зеленомошными и травяно-моховыми лесами формируются подзолистые элювиально-глеевые либо глееподзолистые почвы. Элювиально-глеевый элементарный почвенный процесс в той или иной степени проявляется на породах суглинистого состава, в различных типах и подтипах почв при ослаблении дренажа. Факт оглеения поверхностных горизонтов, сопровождающийся процессами выноса полуторных окислов, а также ряда микро- и макроэлементов, нашел свое выражение в выделении подзолистых элювиально-глеевых почв, широко представленных в почвенном покрове таежного Прииртышья [181]. Профиль этих почв состоит из слабооторфованной подстилки мощностью до 3–5 см, ниже которой залегает элювиальный глеевый горизонт серо-сизой окраски с частыми охристыми пятнами ожелезнения. Генетические горизонты обычно не имеют четких границ. Относительно высокое содержание гумуса в верхнем горизонте связано большей частью с грубой органикой. Состав гумуса фульватный с большой долей негидролизуемого остатка. Отношение C_r/C_{ϕ} в элювиальном горизонте 0,4–0,5, сужается в иллювиальной части профиля до 0,15–0,18 [78]. Сезонное переувлажнение почвенного профиля при весеннем оттаивании почв приводит к возникновению восстановительных условий. В результате происходит периодическое вымывание из верхнего слоя почвы образующихся продуктов биохимических превращений и связанных в органоминеральные комплексы металлов – Pb, Zn, Ni. Элементы, восстановленные формы которых малоподвижны (V, Mo, Cu), мигрируют слабо [168].

Важно подчеркнуть, что оглеение почвенного профиля является фактором перераспределения веществ в вертикальной и горизонтальной структуре ландшафта. Согласно данным исследований, физико-химический и микроэлементный состав таежных элювиально-глеевых почв, сформированных на озерно-аллювиальных отложениях тяжелого механического состава, сильно отличается от состава подзолов. Реакция в данном типе почв кислая по всему профилю, но в нижних горизонтах приближается к нейтральной. Биологическое накопление Mn и Zn в поверхностном горизонте отчетливо выражено, однако дифференциация почвенного профиля по содержанию этих элементов не столь ярка, как в иллювиально-железистых подзолах. Достаточно высоко (10–20 мг/кг) в пределах всего профиля содержание свинца, что связано с более богатым составом суглинистых почвообразующих пород. В отличие от болотных почв, где высокое содержание свинца обусловлено в основном его биологическим накоплением [152], в таежных элювиально-глеевых

почвах повышение концентрации свинца связано с иловатой фракцией почв.

Для глееподзолистых почв характерны повышенные концентрации прежде всего литофильных элементов – титана, лития, циркония. По сравнению с кларком, почвы отличаются высоким содержанием марганца – типичного таежного элемента. Близки к кларку концентрации никеля, свинца, цинка, несколько понижены концентрации ванадия и хрома.

На породах тяжелого механического состава при затрудненном дренаже наблюдается интенсивное оглеение нижней части почвенного профиля с формированием подзолисто-глеевых почв. Глеевые процессы перемежаются с непродолжительными процессами окисления. Процесс подзолообразования протекает слабо и существенно не влияет на формирование морфологических и химических особенностей почвенного профиля. В северных районах дренаж также может затрудняться локально распространенной вечной мерзлотой. Подзолисто-глеевые почвы характеризуются кислой реакцией среды (рН 5,0–5,5); емкость поглощения небольшая, поглощающий комплекс ненасыщен. Преобладает среди почвенных катионов алюминий. Содержание гумуса довольно велико и составляет 2–2,5 %.

Распределение микроэлементов в профиле подзолисто-глееватых почв было описано И.П. Гавриловой и И.А. Павленко [46]. Согласно приводимым данным, для подзолисто-глееватых почв характерно перераспределение в вертикальном профиле почв меди, цинка, никеля, кобальта и марганца, причем за счет процессов биологического накопления марганца в почвах больше, чем в почвообразующих породах, а остальных микроэлементов меньше (табл. 3.5)

При ослаблении дренажа наблюдается формирование слоя торфа различной мощности. Почвы с интенсивным проявлением детритогенеза относят к торфяно-подзолисто-глеевым и торфяно-подзолам [100]. Торфяно-подзолы распространены в районах с доминированием почвообразующих пород легкого механического состава под сосновыми багульниково-зеленомошными лесами, произрастающими в нижних частях водораздельных увалов, на нешироких межувальных пространствах

Таблица 3.5

**Среднее содержание микроэлементов
в подзолисто-глееватых почвах, мг/кг [46]**

Элемент	Среднее для почвы	Среднее для породы	K_p
Cu	10	20	0,5
Zn	30	36	0,8
Ni	12	20	0,6
Co	4	6	0,7
Pb	8	8	1
Mn	387	220	1,8

ствах, слабозаболоченных участках плоских водоразделов. В почвенном профиле под слоем слаборазложившегося мохового очеса залегает слой сфагнового торфа мощностью 10–15 см. Торфяно-подзолы имеют сильнокислую реакцию почвенного профиля и характеризуются низкими запасами элементов минерального питания растений. Содержание гумуса несколько выше, чем в иллювиально-железистых подзолах, и в иллювиальных горизонтах составляет 1,2–1,8 %, в почвообразующей породе – 0,6–0,8 %. Основным фактором радиальной дифференциации элементного состава торфяно-подзолов является биогенная аккумуляция в торфе меди, свинца, марганца. Минимально содержание практически всех элементов в подзолистом оглеенном горизонте. Отмечена аккумуляция Zn, Cu, Ni в нижней части профиля, связанная с элювиально-иллювиальной дифференциацией гумусовых веществ.

Отдельного рассмотрения требует состав торфа верховых болот, которые доминируют на плоских слабообналиченных водоразделах. Микроэлементный состав торфов зависит от ряда факторов: содержания микроэлементов в растительном опаде, степени разложения торфа, положения торфяного массива в ландшафте, кислотно-щелочного и окислительно-восстановительного режимов [58]. Обследование торфа было выполнено нами в различных типах верховых болотных комплексов, включая мерзлые плоскобугристые торфяники лесотундры и северной тайги.

Средняя зольность исследованных образцов торфа составила 4,3 %. В микроэлементном составе торфа обращает на себя внимание прежде всего высокое содержание марганца. Наиболее полный анализ микроэлементного состава верховых торфов был проведен для европейской части России В.Н. Крештаповой [107] и О.П. Добродеевым [72]. Согласно

Таблица 3.6

Содержание металлов в торфе верховых болот

Элемент	Верховой торф Западной Сибири		Среднее содержание в золе торфа	
	в абс. сухом в-ве	в золе	[72]	[216]
Fe	0,04–2 (0,53)	0,84–47 (12,3)	2,90	24,27
Mn	3,6–886 (184)	83–32588 (4279)	700	2200
Cu	0,8–13 (4,9)	18–302 (144)	89	260
Zn	1,2–100 (17,8)	28–2325 (414)	940	550
Ni	1–25 (6,8)	23–581 (158)	180	20
Co	0,2–15 (3,7)	5,1–348 (93)	45	21
Pb	0,1–32 (4,8)	2,3–744 (111)	120	–
Cr	0,9–65 (12,4)	21–1511 (314)	120	–
Cd	<0,02–0,34 (0,04)	<0,5–7,9 (0,93)	15,5	–

Примечание. Приведены пределы колебаний, в скобках – среднее количество, Fe – в %, остальные элементы – в мг/кг.

но обобщающим данным, среднее содержание марганца в золе верхового торфа составляет 700 мг/кг [72]. Кларковое содержание этого элемента в золе торфов различного состава в среднем 2200 мг/кг [216]. По результатам наших исследований, содержание Mn в золе верховых торфов Западной Сибири значительно превышает указанные величины, составляя в среднем 4279 мг/кг (табл. 3.6). Максимальные концентрации марганца, достигающие 886 мг/кг сухого веса (более 12 г/кг золы), были отмечены в торфянике Тарманского болотного комплекса (подтайга). Концентрация марганца в золе торфа значительно ниже, чем в золе сфагновых мхов, поскольку в составе растений этот элемент находится в легкорастворимой форме и быстро освобождается из разлагающихся растительных остатков [153].

Таким образом, к основным биогеохимическим особенностям верховых болот Западной Сибири можно отнести повышенное содержание марганца в торфе и растениях-торфообразователях. Ранее этот факт уже был описан для таежных геосистем Тюменской [148, 153] и Томской [88] областей. Отмечалось также, что высокое содержание марганца в торфе характерно для таежной зоны Предуралья. Если в верховом торфе европейской части России содержание Mn составляет 13–15 мг/кг сухого веса, то в Предуралье оно достигает 1442 мг/кг [126].

Железо, которое является типоморфным элементом ландшафтов кислого глеевого класса [167], в торфах Западной Сибири также имеет повышенные концентрации. В торфяных почвах железо находится в различных формах, из которых важнейшую роль в миграционных процессах играют железоорганические соединения [13, 153]. При изучении состава торфов центральной части Западной Сибири было выявлено, что содержание железа в верховом торфе составляет 0,08–0,4 % от абсолютно сухого вещества [13]. Согласно нашим данным, диапазон варьирования концентрации железа в торфах Западной Сибири шире – от 0,04 до 2 % абсолютно сухого вещества (см. табл. 3.6). Максимальное содержание железа отмечено в торфе болот тундры и лесотундры, где оно достигает 28 % от зольного остатка. По сравнению с другими регионами содержание железа в золе торфов Западной Сибири весьма велико – приблизительно в 4 раза выше средних значений, приводимых для верховых торфов О.П. Добродеевым [72]. Как правило, железо имеет относительно равномерное распределение по профилю почв, однако в ряде случаев была отмечена тенденция к увеличению концентрации Fe в верхней части разреза. Содержание железа в торфе выше, чем в сфагновых мхах, что связано с закреплением в торфах окисных форм железа.

Содержание в верховых торфах Западной Сибири микроэлементов отличается большой вариабельностью, разброс значений достигает двух математических порядков (см. табл. 3.6). Это свидетельствует о резких различиях в условиях поступления микроэлементов в торфяную залежь, об их накоплении растениями и закреплении на торфяном биогеохимическом барьере.

Концентрации свинца, никеля близки к средним значениям для верховых торфяных залежей (см. табл. 3.6) и по абсолютным значениям близки к концентрациям в сфагновых мхах. Минимально содержание свинца в торфе лесотундр Западной Сибири, где оно составляет в среднем 80–125 мг/кг золы. В средней и южной тайге содержание Pb в торфе повышается до 150–200 мг/кг золы. Содержание свинца в торфе не связано корреляционной зависимостью ни с одним из других элементов. Высокая достоверная положительная корреляция отмечена между содержанием в торфе железа, марганца, меди и никеля.

Содержание меди в торфе верховых болот Западной Сибири незначительно выше среднего уровня (см. табл. 3.6). Максимальное содержание (150–182 мг/кг золы) было отмечено в лесотундре. Содержание меди в торфе ниже содержания ее в растениях-торфообразователях (сфагновых мхах), что свидетельствует о довольно высокой подвижности этого элемента в окислительно-восстановительных условиях болотных вод.

Цинк является элементом, интенсивно накапливаемым растительностью, но его высокая подвижность в кислой среде болотных ландшафтов приводит к интенсивному вымыванию из растительных остатков. Вследствие этого содержание цинка в торфе значительно ниже содержания в сфагновых мхах, причем наибольшие различия характерны для южной тайги, где содержание цинка во мхах в 3–7 раз выше содержания его в торфе. Содержание цинка в торфе Западной Сибири вдвое ниже среднего уровня, характерного для верховых торфов.

В противоположность цинку кобальт накапливается в торфах по сравнению с растениями-торфообразователями благодаря своей очень слабой подвижности в условиях кислых болотных ландшафтов и малой миграционной активности. Полученные нами данные о содержании Co несколько выше показателей, полученных при исследовании состава верхового торфа в Томской области [9, 88], причем максимальные значения были отмечены на крайнем севере лесной зоны (Тазовский п-ов). В целом полученные нами данные о содержании сидерофильных элементов (Fe, Ni, Co) несколько выше, чем данные о содержании их в торфах Томской области [9, 81]. Вероятно, причина – в более широком охвате типов торфа, включая торф мерзлых плоскобугристых торфяников с ерниково-кустарничково-сфагново-лишайниковыми растительными сообществами и олигомезотрофных болотных комплексов южной тайги.

Обращает на себя внимание тот факт, что концентрация кадмия в торфах верховых болот Западной Сибири на порядок ниже приводимых в работе О.П. Добродеева [72] кларковых значений. Учитывая, что эти данные были получены главным образом по материалам анализа торфов европейской части России, можно сделать вывод, что содержание кадмия в аэрозолях над Западной Сибирью значительно ниже, чем на сопредельной с запада территории. Таким образом, главными особенностями состава торфа верховых болот Западной Сибири являются высокое содержание железа и марганца, малые концентрации кадмия.

3.3. Ландшафтно-геохимическое районирование таежной зоны Западной Сибири (в пределах Тюменской области)

Географический анализ территории начинается с изучения ее пространственной дифференциации [157]. Проблемы классификации геохимических ландшафтов во многом схожи с проблемами, стоящими перед представителями ландшафтоведения. Отмечалось, что специфика геохимии ландшафтов состоит не в особых принципах деления ландшафтной сферы, а в ином подходе к ее изучению [167, 198]. Вместе с тем ландшафтно-геохимическое районирование должно учитывать химические параметры геосистем. Выбор химических параметров, являющихся типоморфными, представляет собой подчас нелегкую задачу, требующую глубокого анализа специфики ландшафтной структуры. Главный принцип дифференциации территории на вещественной основе состоит в наложении на относительно стабильную литолого-геологическую ситуацию весьма динамичной ландшафтно-геохимической, регулируемой физико-географическими факторами [156]. Метаболизм геосистем в значительной мере зависит от фактора географической зональности, что нашло отражение в выделении А.И. Перельманом таксономических категорий групп и семейств геохимических ландшафтов, определяемых по принадлежности к той или иной географической зоне (группа) и подзоне (семейство).

Системный принцип анализа проявления факторов ландшафтно-геохимической дифференциации был реализован Е.Г. Нечаевой при проведении районирования Западной Сибири [154]. Ландшафтно-геохимические области и провинции были выделены в соответствии с особенностями зональной биоклиматической дифференциации, типом биологического круговорота, классами водной миграции, а подразделение провинций на округа обусловлено меридиональными биоклиматическими изменениями, а также различиями дренажно-речной системы, что нашло отражение в соответствующих названиях округов и речных бассейнов.

При описании ландшафтно-геохимических особенностей таежной зоны Западной Сибири нами использовались схемы ландшафтно-геохимического районирования Е.Г. Нечаевой [154] и физико-географического районирования Тюменской области [49], видоизмененные по результатам проведенных исследований. Так, нами выделен Саяно-Турганский округ в техногенном ряду миграции вследствие радикального изменения ряда геохимических параметров представительных природных сред, а также выделены некоторые округа по принципу принадлежности к единому бассейну стока (Казымский) или крупной геолого-геоморфологической структуре (Аганский). Выделенные объекты районирования различаются по интенсивности биологического круговорота, особенностям литогенной основы, преобладающим факторам пространственной дифференциации геосистем топологического уровня. Учитывалась принадлежность к крупным бассейнам стока, что позволило провести анализ геохимических показателей в рамках каскадных

ландшафтно-геохимических систем. Их ранг (ландшафтно-геохимические округа) определен в соответствии со схемой ландшафтно-геохимического районирования Е.Г. Нечаевой. Используемая в нашей работе схема ландшафтно-геохимического районирования отражена на рис. 3.1. Ниже приводится описание ландшафтно-геохимических особенностей отдельных округов, в пределах которых нами велись исследования.

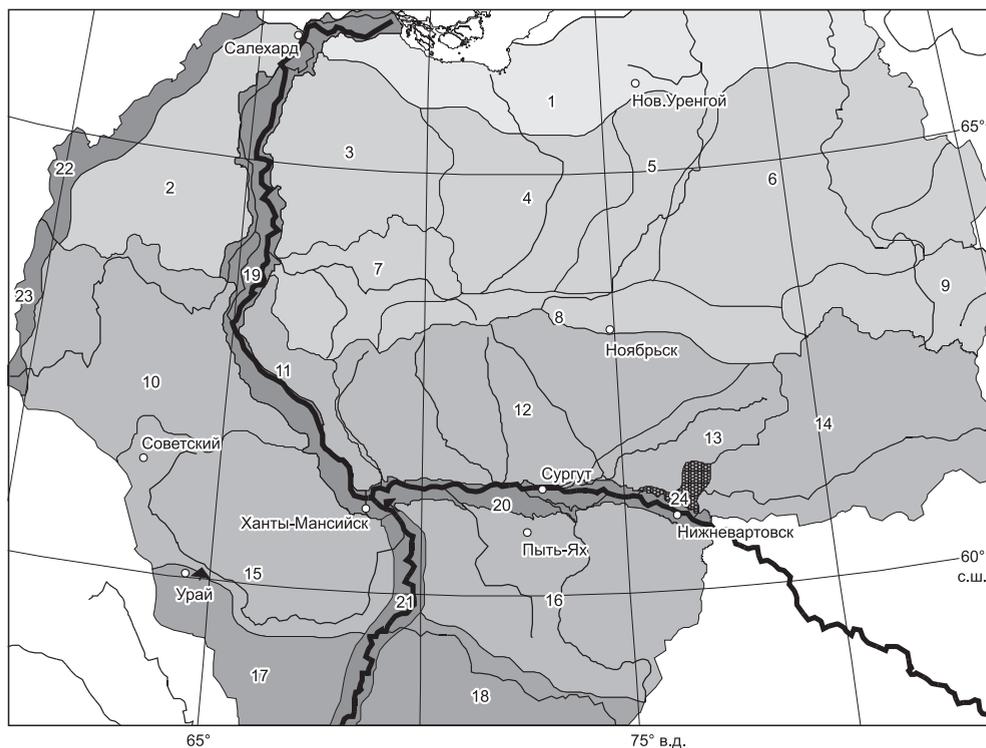


Рис. 3.1. Схема ландшафтно-геохимического районирования таежной зоны Западной Сибири и прилегающих территорий (в пределах Тюменской области):

биогенный ряд. Болотно-таежная ландшафтно-геохимическая область, лесотундровая провинция: 1 – Северо-Надым-Пурский округ;

северотаежная провинция, округа: 2 – Северо-Сосьвинский, 3 – Подуйский, 4 – Надымский, 5 – Южно-Надым-Пурский, 6 – Пур-Тазовский, 7 – Казымский, 8 – Сибирские Увалы, 9 – Верхнетазовский;

среднетаежная провинция, округа: 10 – Сосьвинский, 11 – Белогорский, 12 – Сургутский, 13 – Аганский, 14 – Ваховский, 15 – Кондинский, 16 – Юганский;

южнотаежная провинция, округа: 17 – Тавдинский, 18 – Тобольский;

пойменно-долинные округа: 19 – Нижнеобской, 20 – Среднеобской, 21 – Нижнеиртышский;

уральская горная ландшафтно-геохимическая область, округа: 22 – Приполярноуральский, 23 – Среднеуральский;

техногенный ряд. 24 – Смотлорский округ

Северо-Надым-Пурский округ

Территория округа расположена в пределах Надым-Пурского междуречья, на разделе лесотундры и северной тайги. Рельефообразующими породами являются водно-ледниковые и озерно-ледниковые отложения, представленные сиаллитными и кварц-сиаллитными песками, супесями и суглинками [16]. Среди ландшафтных комплексов полого-волнистых водоразделов господствуют лиственничные кустарничково-лишайниковые редколесья с доминированием в почвенном покрове иллювиально-железистых песчаных подзолов. При ухудшении дренажа они сменяются геохимически подчиненными полугидроморфными и гидроморфными ландшафтными комплексами, среди которых наибольшее распространение имеют заболоченные лиственничные кустарничково-сфагновые леса на торфянисто-подзолистых глеевых супесчаных и суглинистых почвах, кустарничково-лишайниково-сфагновые плоскобугристые верховые болота на олиготрофных торфяных почвах различной мощности и кустарничково-травяно-моховые переходные болота на болотных торфяно-глеевых почвах. Под лиственничными ерниково-кустарничково-моховыми редколесьями на породах тяжелого механического состава формируются глееземы. Территория отличается преобладанием ландшафтов кислого глеевого и кислого классов водной миграции.

Почвы округа формируются в условиях замедленного биологического круговорота веществ. Характерны кислые ненасыщенные малогумусные почвы с интенсивной радиальной и латеральной миграцией, развитые на песках и супесях. Данные об элементном составе почв округа представлены в табл. 3.7. При сопоставлении с кларковыми показателями очевидно, что почвы обеднены сидерофильными элементами, для большинства которых наблюдается уровень чрезвычайного дефицита ($K_k < 0,3$). Особенно низкие концентрации характерны для хрома и никеля. Выше кларковых величин содержание в почвах только кадмия и ртути, однако концентрации других халькофильных элементов (Cu, Zn, Pb) на уровне кларка или ниже его (рис. 3.2). Крайне бедным элементным составом характеризуются песчаные подзолы. Полученные результаты о составе почв близки к данным геохимического фона водно-ледниковых равнин Западной Сибири, приводимым в работе Е.П. Сорокиной с соавторами [211]. Исключением является содержание меди и цинка, концентрация которых, по нашим данным, ниже в 2–4 раза.

Различия в составе почв связаны с их минералогическим и гранулометрическим составом, окислительно-восстановительными условиями и особенностями аккумуляции на ландшафтно-геохимических барьерах. В подзолах, характеризующихся кислой реакцией в верхней части профиля (pH = 5–5,4) и обедненных гумусом, содержание которого в минеральных горизонтах составляет десятые доли процента, не выражено накопление элементов на геохимических барьерах, за исключением аккумуляции марганца и цинка в напочвенной подстилке. В полугидроморфных глееподзолистых почвах и глееземах, представленных супес-

Таблица 3.7

**Элементный состав почв и донных отложений Северо-Надым-Пурского округа,
мг/кг, Fe – %**

Тип почв	Элемент									
	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Cd	Ni	Pb	Hg	
Подзолы иллювиально-железистые	1,1	58,7	19,7	31,0	5,1	0,8	5,9	6,5	0,021	
Торфяно-криоземы	2,7	350	44,1	49,2	21,9	2,7	15,8	9,3	0,035	
Глессемы	1,6	420	29,4	48,6	9,9	1,6	11,2	10	0,028	
Глесподзолистые	1,5	283	38,2	46,3	11,2	1,6	10,5	11	0,024	
Болотные торфяно-глесвые	0,6	110	17,1	22,4	9,5	0,6	8,5	4,7	0,053	
Болотные переходные	1,8	318	25,1	23,3	11,1	0,5	7,5	5,7	0,039	
Аллювиальные	1,8	241	15,3	16,4	5,7	1,7	3	3,2	0,018	
Всего (n = 200):										
<i>M</i>	2,0	235	19,8	41,5	8,8	1,1	13,5	9,8	0,025	
min-max	0,17-10,3	5-3600	0,5-73	2,2-420	0,5-36	0,5-3,9	1,1-45	0,5-151	0,01-0,18	
Кларк почв по Виноградову	3,8	850	50	200	20	0,5	40	10	0,03	
Региональный фон водно-ледниковых равнин Западной Сибири [211]	-	532	60	38	21	-	9,6	10,3	-	
Донные отложения (n = 34)	1,7	168	10,0	101	6,2	0,5	12,3	5,9	0,02	
Кларк литосферы по Виноградову	4,65	1000	85	83	47	0,13	58	16	0,08	

Примечание. Прочерк – элемент не был определен.

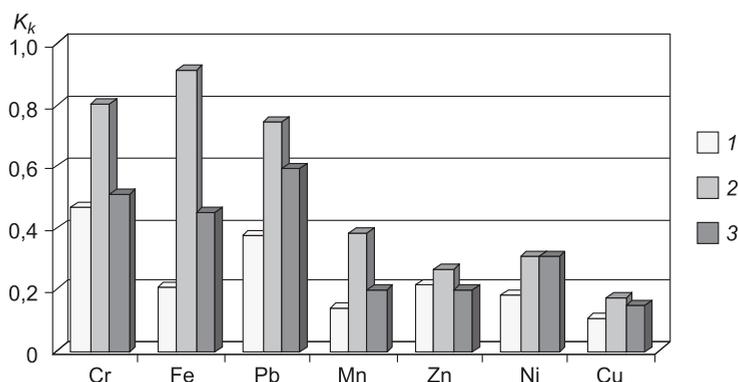


Рис. 3.2. Кларки концентрации элементов в почвах и донных отложениях (Северо-Надым-Пурский округ):

1 – песчаные почвы; 2 – суглинистые почвы; 3 – донные отложения

чаными разновидностями, повышено относительно подзолов содержание всех элементов. Переувлажненные торфяно-глеевые почвы обеднены железом, которое накапливается в геохимически подчиненных аллювиальных почвах. Вместе с тем аллювиальные почвы обеднены медью и свинцом, что связано с высокой миграционной активностью этих элементов в условиях периодического затопления.

В донных отложениях накопление микроэлементов выражено слабо, все элементы, за исключением хрома, относятся к группе чрезвычайного дефицита. По сравнению с суглинистыми почвами донные отложения обеднены всеми микроэлементами и железом, а по сравнению с песчаными – обеднены медью, марганцем, свинцом и цинком (т. е. элементами биологического накопления) и обогащены железом, хромом, никелем – элементами, подвижность которых возрастает в глеевой обстановке и падает в окислительных условиях. Таким образом, ведущими факторами формирования состава почв и донных отложений являются доминирование песчаных пород ледниково-флювиального происхождения, обедненных большинством элементов, и контрастные окислительно-восстановительные условия.

Преобладание в пределах водосборных бассейнов песчаных пород определяет и основные гидрохимические особенности. Исследованные водные источники по характеру внутригодового распределения стока относятся к району с абсолютным преобладанием весеннего стока; питание рек преимущественно снеговое, доля грунтового питания мала [16]. Поверхностные воды маломинерализованные, а по величине общей жесткости характеризуются как “очень мягкие” и “мягкие”. В большинстве случаев речные воды обладают более высокой минерализацией, чем вода озер. Особенности химического состава поверхностных вод округа по данным обследования двух участков представлены в табл. 3.8.

Поверхностные воды имеют реакцию среды, изменяющуюся в широких пределах – от кислой (4,7 ед. рН) до нейтральной (7,2 ед. рН). Кис-

Таблица 3.8

**Химический состав поверхностных вод
Северо-Надым-Пурского округа**

Показатель	Междуречье Евояха-Ямсовой, <i>n</i> = 12	Междуречье Ныда-Правая Хетта, <i>n</i> = 53
pH	5,77	5,14
Гидрохимическая формула по Курлову	$M_{0,016} \frac{HCO_3 \ 74 \ Cl \ 15 \ SO_4 \ 11}{Ca \ 39 \ Mg \ 33 \ Na \ 22}$	$M_{0,060} \frac{HCO_3 \ 66 \ SO_4 \ 22 \ Cl \ 12}{Ca \ 40 \ Mg \ 31 \ Na \ 22}$
Fe, мг/дм ³	1,1	2,0
Cu, мкг/дм ³	2,2	0,5
Zn, мкг/дм ³	5,8	3,4
Mn, мкг/дм ³	70	107
Pb, мкг/дм ³	0,8	0,5
Нитраты, мг/дм ³	1,5	1,2
Нитриты, мг/дм ³	0,02	0,02
Аммоний солевой, мг/дм ³	0,29	0,78
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,09	0,18
АПАВ, мг/дм ³	0,015	0,015

лая реакция характерна для малых рек, питание которых в летний период осуществляется с заболоченных водосборов. Поверхностные воды отличаются повышенным содержанием железа (0,5–2,7 мг/дм³), стабильно превышающим экологические нормативы.

Сходным составом характеризуются и внутрипочвенные воды. В ионном составе грунтовых вод преобладает гидрокарбонат-ион, содержание которого значительно превышает содержание хлорид- и сульфат-иона. По данным опробования, выполненного на ландшафтно-геохимическом профиле в районе оз. Хабитосе, концентрации гидрокарбонатов и хлоридов возрастают по направлению к пойме, в то время как содержание сульфатов максимально на водоразделе. Концентрации катионов Na⁺, Mg²⁺ и K⁺ закономерно увеличивается от водораздела к пойме. Таким образом, для исследованного участка характерен интенсивный вынос водорастворимых солей из автономных ландшафтов в аккумулятивные. По сравнению с приводимыми в литературных источниках данными о составе подземных вод северных районов Западной Сибири [86, 125] содержание основных

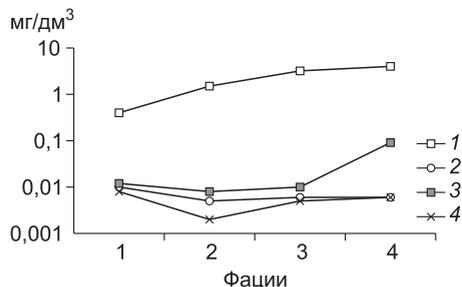


Рис. 3.3. Содержание химических элементов в грунтовых водах:

фации: 1 – поверхность озерно-аллювиальной равнины р. Хабитосе, 2 – склон долины, 3 – надпойменная терраса, 4 – пойма; 1 – железо, 2 – медь, 3 – цинк, 4 – свинец

Таблица 3.9

**Элементный состав объектов гидросферы
(Северо-Надым-Пурский округ)**

Элемент	Поверхностные воды		Грунтовые воды		Донные отложения	
	мкг/дм ³	K_x	мкг/дм ³	K_x	мг/кг	K_k
Fe	1167	0,4	2275	0,7	17255	0,37
Zn	23,3	4,0	30,3	5,2	14,4	0,17
Cr	–	–	–	–	16,9	0,20
Cu	6,2	1,9	6,7	2,0	5,6	0,12
Cd	0,33	36	0,2	21	0,25	1,9
Ni	2,3	0,6	3,5	0,9	12,2	0,21
Pb	5,0	4,5	5,3	4,7	3,2	0,20
Hg	0,11	1,9	0,14	2,4	0,007	0,08
Mn	230	3,3	150	2,1	168	0,17

Примечание. Прочерк – содержание элемента не определялось.

ионов в грунтовых водах очень низкое. На фоне пониженных концентраций водорастворимых солей резко выделяется высокая концентрация железа, которая варьирует от 0,4 до 4 мг/дм³, закономерно увеличиваясь от водораздела к пойме. Для других металлов наименьшие показатели характерны для транзитных ландшафтов склона речной долины (рис. 3.3).

Обобщенные показатели элементного состава объектов гидросферы (средние значения коэффициентов водной миграции, кларки концентраций) представлены в табл. 3.9.

По особенностям водной миграции элементы располагаются в следующий ряд: к элементам средней миграции ($K_x = 0,1-1$) относятся железо и никель, к элементам сильной миграции в поверхностных и подземных водах (в порядке уменьшения K_x) – кадмий, цинк, марганец, медь, свинец, ртуть. Полученные значения для большинства микроэлементов выше, чем средние значения коэффициентов водной миграции по Добровольскому [70], в особенности для свинца, кадмия и марганца, что свидетельствует об их высокой подвижности в условиях кислых почв, о контрастных окислительно-восстановительных условиях, слабой выраженности радиальных и латеральных геохимических барьеров.

Казымский округ

Он располагается в пределах бассейна р. Казым. Северная часть округа лежит в пределах Полуйской возвышенности, с запада округ ограничен возвышенностью Белогорский Материк, с юга – возвышенностями Сибирских Увалов. В восточной части округа на плоских водоразделах преобладают верховые болотные комплексы; таежные леса распространены на приречных террасах и/или на минеральных внутриболотных “островах”, сложенных породами водно-ледникового проис-

хождения. Вблизи р. Обь улучшение дренированности на водоразделах приводит к доминированию темнохвойных и сосновых лесов.

В ландшафтной структуре плоских водоразделов наблюдается закономерное сочетание нескольких преобладающих типов урочищ. Автономные ландшафтно-геохимические комплексы олиготрофных выпуклых болот сочетаются с отдельными минеральными островами, покрытыми сосновыми и кедровыми лесами, произрастающими на языковатых иллювиально-железистых подзолах. Расположенные на более низком орографическом уровне придолинные ландшафтно-геохимические комплексы характеризуются сочетанием сосново-кедровых и сосново-лиственничных кустарничково-лишайниковых и кустарничково-мелкотравно-зеленомошных лесов на подзолах иллювиально-гумусовых и полугидроморфных темнохвойных травяных лесов на глееподзолистых почвах. На нижних ступенях сопряженного ряда миграции веществ находятся фации темнохвойных кустарничково-моховых лесов на глееподзолистых почвах, которые переходят в супераквальные ландшафтно-геохимические комплексы пойменных заболоченных лугов.

Обобщенные данные о микроэлементном составе почв округа, среди которых преобладают иллювиально-железистые подзолы и глееподзолистые почвы, представлены в табл. 3.10. Пробы были отобраны преимущественно в западной части округа, в пределах надпойменных

Таблица 3.10

**Содержание микроэлементов в почвах
Казымского ландшафтно-геохимического округа, мг/кг (n = 37)**

Элемент	<i>M</i>	min	max	<i>SD</i>	<i>K_к</i>
Mn	1090	200	10000	620	1,3
V	40	10	80	27	0,4
Ti	5866	1000	8000	3360	1,3
Cr	60	30	200	29	0,3
Zr	232	200	1000	118	0,8
Be	0,92	0,5	2	0,57	0,2
Y	25	20	80	8,7	0,9
Ba	271	100	600	121	0,5
Sr	200	100	300	87	0,7
Nb	9,3	5	15	2,0	0,5
Li	14,5	5	15	8,5	0,4
Ni	23,8	4	50	7,7	0,6
Co	5,3	2	15	2,6	0,5
Cu	13,4	5	50	4,5	0,7
Zn	61,0	20	150	58	1,2
Pb	14,3	10	100	9,2	1,4
Sn	1,8	1	6	0,4	0,2
P	580	250	10000	152	0,7
Ga	14,3	4	30	8,3	0,8

террас р. Казым, сложенных верхнечетвертичными аллювиальными породами легкого механического состава [96].

По сравнению с условным мировым кларком почв обследованные почвы характеризуются повышенным содержанием марганца, титана, цинка и свинца. Околокларковые показатели выявлены у Zr, Y, Sr, Cu, P, Ga, дефицит отмечен для V, Be, Li, Sn, концентрации которых меньше кларка в 2–5 раз. На состав почв влияют процессы биологического накопления, что приводит к аккумуляции Pb, Mn, Zn в поверхностных горизонтах. Для почв характерен интенсивный вынос аниогенных элементов и слабых катионов – V, Cr, Sn, Co и Mo, причем концентрация последнего, как правило, ниже порога обнаружения. В целом микроэлементный состав почв более богат, чем состав почв Северо-Надым-Пурского округа, а региональный коэффициент накопления R_k равен 0,7, т. е. для почв характерно незначительное обеднение по сравнению с кларковыми показателями.

Обширные водораздельные пространства заболочены. Для болотных верховых почв характерно низкое содержание элементов минерального питания растений и гидрогенная аккумуляция железа. По сравнению со средними фоновыми концентрациями в верховых торфах [72] торф Казымского округа имеет высокие концентрации железа и марганца, в особенности в глубокозалегающих горизонтах. Содержание меди, хрома, никеля превышает средний уровень в 2–4 раза. Металлы, которые часто рассматриваются как индикаторы техногенных эмиссий (свинец и кадмий), в торфяниках содержатся в малых концентрациях, не превышающих средние значения для торфа верховых болот (табл. 3.11). Таким образом, повышенные концентрации характерны для сидерофильных элементов, халькофильные накапливаются слабо.

По результатам исследований в верхнем течении р. Казым распределение микроэлементов в вертикальном профиле торфяника имеет сложный характер, соответствующий стадийности торфонакопления.

Таблица 3.11

**Микроэлементный состав торфов верховых болот (0–80 см)
Казымского ландшафтно-геохимического округа**

Участок	Элемент								
	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	Pb	Cd
Междуречье Казым–Охтьеган, водораздел ($n = 6$)	0,92	214,0	33,5	4,4	9,4	4,0	13,1	1,2	0,08
Верхнее течение р. Казым, водораздел ($n = 5$)	1,18	420,3	14,8	3,47	8,1	1,3	16,0	0,7	0,12
Верхнее течение р. Казым, надпойменная терраса ($n = 5$)	0,67	173,0	10,7	1,90	2,7	0,51	16,3	0,5	0,08
Среднее для торфов верховых болот [72]	0,055	18	26	2,2	4	2	4	3,0	0,65

Примечание. Fe – в %; микроэлементы – в мг/кг абсолютно сухого веса.

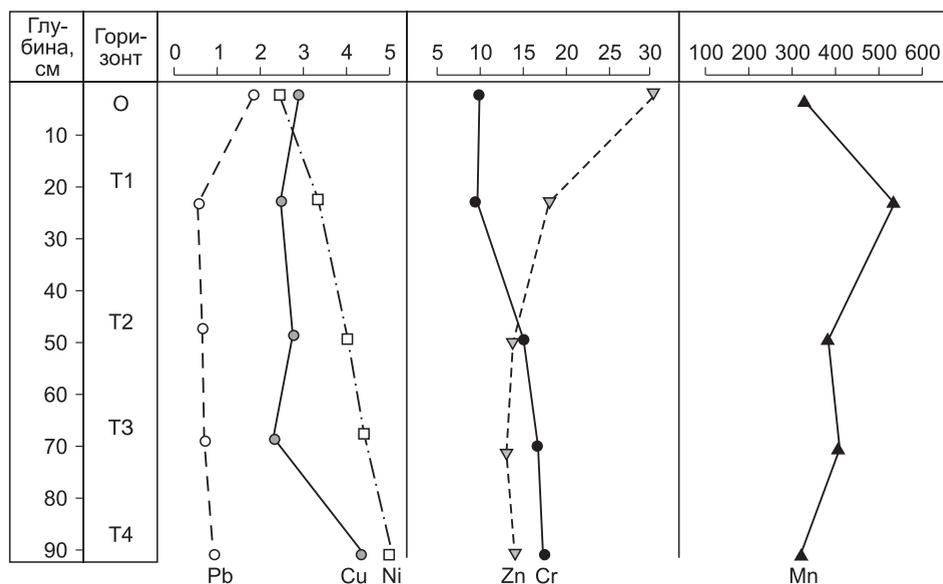


Рис. 3.4. Распределение микроэлементов в профиле торфяника, верхнее течение р. Казым

Известно, что болота низинного и переходного типов по мере развития постепенно переходят в олиготрофную стадию. Соответственно в сложении залежи в нижней части отмечается низинный и переходный торф, в верхней – верховой. Низинный торф по сравнению с верховым отличается повышенным содержанием практически всех микроэлементов [9, 88]. Поэтому неслучайно в нижележащих горизонтах повышается содержание Co, Pb, Cr (рис. 3.4). Однако максимальные концентрации марганца отмечены в средней части профиля, на глубине 25 см. Причиной увеличения содержания Mn является значительное участие в этой пробе торфа растений-манганофилов, в первую очередь ерника.

В торфах наблюдаются повышенные, относительно минеральных почв, концентрации Cd, Cu, Mn, Zn. Происходит накопление свинца и кобальта в донных отложениях. Отсутствие латеральных и радиальных барьеров в подзолах, преобладающих в структуре почвенного покрова приречных дренированных террас, приводит к весьма низким значениям показателей латеральной дифференциации.

Округ Сибирские Увалы

Округ протягивается в широтном направлении и соответствует одноименному поднятию рельефа. В качестве литогенной основы ландшафтов в осевой части Сибирских Увалов выступают среднечетвертичные флювиогляциальные и ледниковые отложения (f_{II4} , g_{II4} , g_{II4}) преимущественно легкого механического состава. На южном макросклоне Сибирских Увалов почвообразующие породы представлены как флювиогляциальными, так и озерно-аллювиальными отложениями. Имеющие

отметки высот до 230 м ландшафтные комплексы Сибирских Увалов отличаются высокой степенью расчленения рельефа, весьма редким распространением многолетнемерзлых пород и благоприятными лесорастительными условиями. Песчаные породы обеспечивают свободный внутренний дренаж почвенной толщи. Зональные черты растительного покрова отражают темнохвойные кустарничково-зеленомошные леса на подзолах грунтово-глееватых. Замещающим эдафическим вариантом на песчаных породах выступают сосново-кедровые кустарничково-лишайниковые леса на иллювиально-железистых подзолах. Наиболее дренированные участки примыкают к речным долинам. Волнистые, изредка со следами золотой переработки, фиксированные болотообразованием поверхности водораздельных увалов наиболее часто покрыты сосновыми кустарничково-зеленомошными и кустарничково-лишайниковыми лесами. Понижения между увалами относятся к озерно-болотному типу местности. На плоских выровненных участках преобладают грядово-мочажинные и грядово-озерковые болотные комплексы. Степень заболоченности округа относительно невелика.

Обследование ландшафтно-геохимических особенностей Сибирских Увалов было проведено нами в южной части природного парка "Нумто" и на участке г. Ноябрьск–Вынгапуровское месторождение. Механический состав почвообразующих пород, сформировавшихся в условиях ледниковья и послеледниковой флювиальной деятельности, преимущественно песчаный с включением валунного и галечного материала. Доминирующим типом почв на возвышенностях, покрытых темнохвойно-сосновыми лесами, являются иллювиально-железистые, иллювиально-железисто-гумусовые подзолы. Часто вследствие ослабления грунтового стока в почвах наблюдаются признаки глубинного оглеения. Величина pH в верхней части профиля кислая ($\text{pH}_{\text{col}} = 3,5-4,0$), с глубиной постепенно приближается к слабокислой ($\text{pH}_{\text{col}} = 4,7-5,0$). В нижних иллювиальных горизонтах наблюдается накопление гумусовых веществ и полуторных окислов. Максимальное содержание гумуса – 2,4 % было отмечено в горизонте ВН иллювиально-железисто-гумусового подзола, в то время как в горизонте Е содержание изменяется от 0,3 до 1 %. Такое перераспределение в профиле автоморфных подзолов полуторных окислов и гумуса говорит об интенсивно идущих процессах мобилизации железа и алюминия минеральных пленок кислыми гумусовыми веществами и их последующего выноса без глубокого разрушения силикатной части в элювиальном горизонте [201].

Доминирование пород с преобладанием кварцевого песка обуславливает низкие концентрации микро- и макроэлементов в почвообразующих породах и почвах, а это в свою очередь приводит к ухудшению режима минерального питания растений. Обобщенные данные о микроэлементном составе почв округа Сибирские Увалы представлены в табл. 3.12. Результаты свидетельствуют о весьма низком содержании микроэлементов. Только для циркония и кадмия выявлено превышение кларковых показателей (Zr – как следствие крайне низкой подвижности

Таблица 3.12

**Содержание микроэлементов, мг/кг, в почвах
ландшафтно-геохимического округа Сибирские Увалы ($n = 29$)**

Элемент	M	min	max	SD	K_k
Mn	359	10	800	255	0,42
V	19,6	10	60	17,6	0,20
Ti	3847	200	8000	2688	0,85
Cr	46,3	10	120	34,0	0,23
Zr	362	100	1000	257	1,21
Be	1,1	0,1	2	0,31	0,18
Y	27,8	10	50	10,5	0,96
Yb	1,38	1	5	1,29	4,18
Sc	10,6	1	40	9,3	1,06
Ba	161	20	600	105	0,29
Sr	117	10	300	18	0,31
Nb	8,6	5	20	4,9	0,43
Li	5,9	5	12	2,1	0,20
Ni	10,7	2	30	8,6	0,27
Co	3,3	2	6	1,5	0,33
Cu	14,6	5	30	7,9	0,73
Zn	28,6	10	80	20,0	0,57
Pb	11,5	2	30	9,3	1,15
Sn	0,87	0,5	2	0,45	0,09
Ag	0,015	0,01	0,05	0,012	0,15
Cd	1,5	1	8	1,4	3,00
P	302	50	600	118	0,38
Ga	8,7	5	15	5,1	0,46

этого элемента и стойкости минералов, в состав которых он входит, Cd – по причине низкой оценки кларка в обзорной работе А.П. Виноградова [37]). Околокларковыми величинами характеризуются концентрации Ti, Y. Концентрации остальных элементов, в том числе элементов, физиологически необходимых для биоты, ниже кларка в 1,4–5 раз. Суммарный коэффициент накопления R_k равен 0,65, что типично для водно-ледниковых отложений, согласно данным Е.П. Сорокиной с соавторами [211].

Исследования микроэлементного состава подзолов свидетельствуют о ясно выраженной элювиально-иллювиальной дифференциации, усиливающейся по мере увеличения гумусированности. Так, в почвенном разрезе, заложенном в истоках р. Казым на слабонаклонной поверхности склона от водораздела в долине и покрытом елово-сосновым кустарничково-зеленомошным среднесомкнутым лесом, в профиле иллювиально-железисто-гумусового глеевого подзола распределение микроэлементов соответствует распределению полуторных окислов с минимумом в подзолистом горизонте E (рис. 3.5). Особенно интенсивен

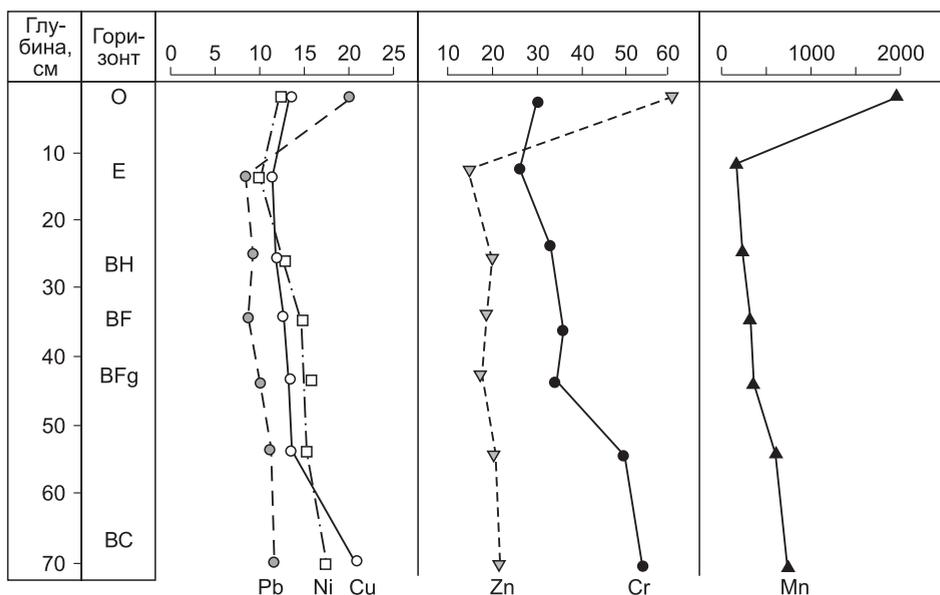


Рис. 3.5. Распределение микроэлементов в профиле подзола иллювиально-железисто-гумусового, южная часть природного парка “Нумто”

вынос из подзолистого горизонта таких элементов, как цинк, марганец, свинец. Накопление веществ идет в иллювиальных горизонтах BF и BH. В нижней части иллювиального горизонта с проявлением оглеения содержание химических элементов по сравнению с горизонтом BF уменьшается и достигает максимума при переходе к почвообразующей породе. В напочвенной подстилке отмечаются повышенные концентрации халькофильных элементов: Cu, Pb, Zn, а также Mn.

Несколько иной характер радиального распределения веществ характерен для подзолов торфяно-глеевых. Элювиально-глеевый элементарный почвенный процесс проявляется в полугидроморфных условиях и связан с процессами сезонного промерзания–оттаивания. В начале теплого периода года по мере оттаивания почв идет отток влаги и находящихся в ней органоминеральных соединений из верхней части профиля в нижележащие слои, в результате происходит вымывание из верхнего слоя почвы продуктов биохимических превращений [201].

В вертикальном профиле торфянисто-глеевого подзола наблюдается четкая дифференциация между органогенными и минеральными горизонтами, различия между подзолистым и иллювиальным горизонтами невелики, однако в почвообразующей породе содержание элементов увеличивается. Из химических элементов наиболее активное накопление в торфе характерно для цинка и меди (рис. 3.6). Таким образом, вертикальное распределение элементов свидетельствует о доминировании процессов биогенной аккумуляции при слабой выраженности других ландшафтно-геохимических барьеров.

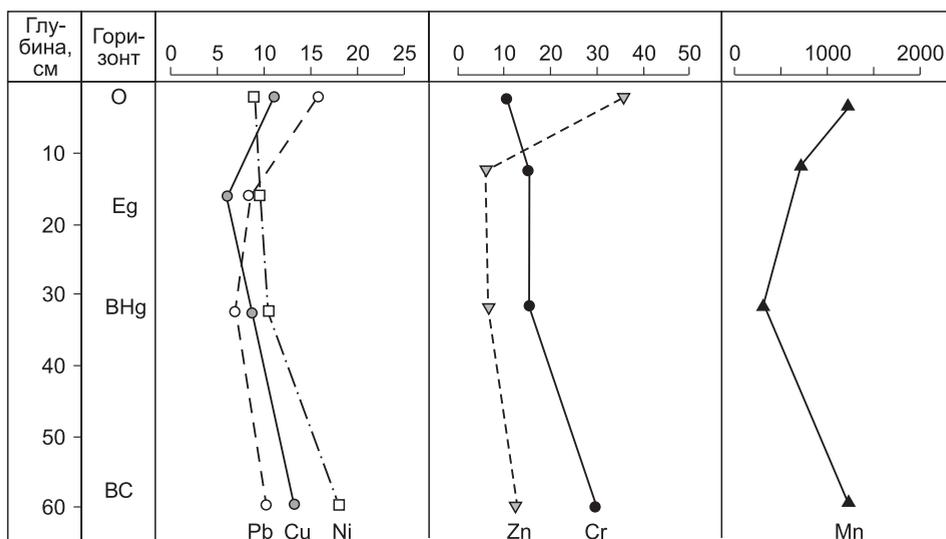


Рис. 3.6. Распределение микроэлементов в профиле подзола торфянисто-глебового, южная часть природного парка “Нумто”

Таблица 3.13

Содержание кислоторастворимых (5M HNO₃) форм металлов в различных компонентах ландшафта, мг/кг

Объект опробования	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	Pb	Cd
Почвообразующие породы	2527	105	16,1	5,7	10,8	6,1	11,6	7,8	0,01
Напочвенная подстилка	1192	187	27	3,3	2,3	0,33	6,8	6,1	0,23
Минеральные горизонты подзолов	643	34,4	7,9	1,18	1,9	0,51	3,0	7,2	0,04
Торф	870	204	20,4	3,2	6,2	2,2	12,5	2,1	0,033
Донные отложения	1178	58,1	6,3	0,80	1,8	0,50	6,26	1,5	0,013

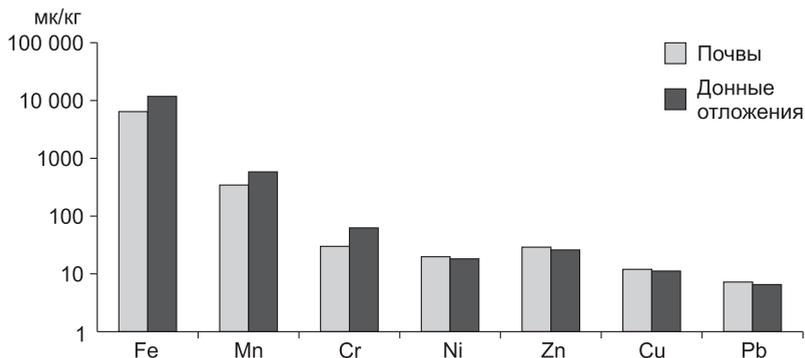


Рис. 3.7. Элементный состав почв ($n = 27$) и донных отложений ($n = 10$) ландшафтно-геохимических катен (ландшафтно-геохимический округ Сибирские Увалы)

Основным фактором радиальной дифференциации является накопление на биогенном барьере ряда микроэлементов – марганца, свинца, цинка (табл. 3.13). Содержание железа и сидерофильных элементов (кроме Mn) максимально в почвообразующих породах, а халькофильных – в напочвенном органогенном горизонте.

В донных отложениях, представленных преимущественно кварцевыми песками с незначительной долей ила и детрита, содержание микроэлементов ниже кларковых показателей. Только для хрома, марганца и железа отмечена незначительная аккумуляция в донных отложениях по сравнению с почвами (рис. 3.7); халькофильные элементы практически не аккумулируются в донных отложениях.

Белогорский округ

В геоморфологическом плане этот округ соответствует возвышенности Белогорский Материк. Преобладают ледниковые и флювиальные суглинистые отложения. Возвышенный рельеф и сильная расчлененность в пределах Белогорского Материка определили хорошую дренированность и благоприятные лесорастительные условия, доминирование лесных ландшафтов и малую заболоченность. Наибольшее распространение имеют темнохвойные березово-еловые, кедрово-еловые леса, произрастающие на подзолистых и глееподзолистых суглинистых почвах.

Почвы Белогорского округа характеризуются относительно богатым микроэлементным составом. Превышение кларка отмечено для Mn, Ti, Sc, Y, Li, Pb, Zn (табл. 3.14). Суммарный коэффициент накопления ($R_k = 1,1$) выше, чем в других обследованных ландшафтно-геохимических округах. Обращает на себя внимание высокое содержание марганца и скандия, обогащены почвы свинцом, цинком, титаном, литием, кобальтом, т. е. элементами различных групп (лиито-, халько- и сидерофильных). По генезису почвообразующие породы Белогорского округа относятся к ледниковым и флювиогляциальным, иногда с присутствием холмисто-моренных образований [96]. Таким образом, наши данные подтверждают факт богатого микроэлементного состава моренных равнин севера Западной Сибири, отмеченный Е.П. Сорокиной с соавторами [211] для территории Ямало-Ненецкого округа.

Радиальная дифференциация микроэлементного состава почв выражена отчетливо только для биогенных элементов, в первую очередь марганца. В органоминеральном поверхностном горизонте накапливаются Mn, Zn, Pb, Cd. Содержание железа, никеля, кобальта снижено в оглеенных горизонтах.

Латеральная дифференциация вещественного состава в миграционном ряду почвы–донные отложения выражена довольно слабо. По результатам анализа состава почв и донных отложений серии ландшафтно-геохимических катен, заложенных в условиях склоново-пойменного сопряжения, в донных отложениях отмечено незначительное накопление марганца ($K_A = 1,3$), свинца и цинка ($K_A = 1,1$). Остальные микроэлементы в донных отложениях содержатся в количествах, не превышаю-

Таблица 3.14

**Содержание микроэлементов, мг/кг, в почвах
Белогорского ландшафтно-геохимического округа (n = 57)**

Элемент	<i>M</i>	min	max	<i>SD</i>	<i>K_к</i>
Mn	1773	400	4000	843	2,09
V	109	20	150	28,3	1,10
Ti	8764	3000	10000	2362	1,91
Cr	76,3	15	120	28,7	0,38
Zr	303	60	1200	253	1,01
Be	1,77	1,5	3	0,44	0,29
Y	48,0	20	120	25,2	1,66
Sc	32,9	30	60	7,5	3,29
Ba	271	200	600	95,6	0,54
Sr	213	100	500	75,2	0,75
Nb	13,3	10	30	3,72	0,67
Li	38,26	10	100	17,4	1,27
Ni	37,5	12	50	10,3	0,94
Co	12,6	4	30	4,9	1,26
Mo	1,08	1	1,5	0,15	0,54
Cu	21,42	12	40	6,2	1,07
Zn	64,2	30	150	30,8	1,28
Pb	14,4	10	20	2,8	1,44
Sn	2,14	1	4	0,74	0,21
Ag	0,07	0,05	0,1	0,02	0,70
P	529,6	400	1000	138,2	0,66
Ge	1,16	1	2	0,33	0,83
Ga	21,2	12	40	5,9	1,12

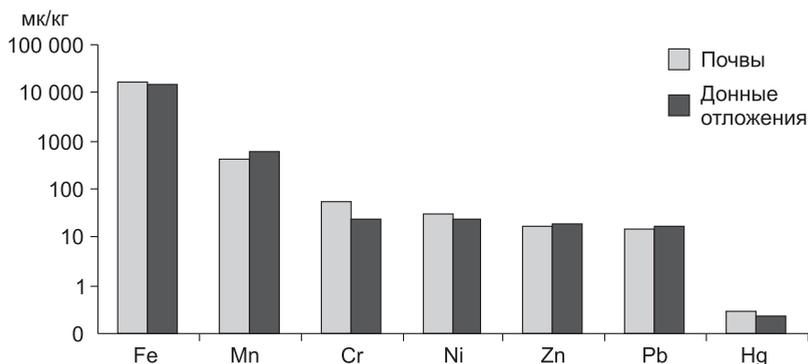


Рис. 3.8. Элементный состав почв ($n = 25$) и донных отложений ($n = 9$) ландшафтно-геохимических катен (Белогорский ландшафтно-геохимический округ)

Таблица 3.15

**Показатели химического состава поверхностных вод
Белогорского округа (Апрельское и Галяновское месторождения)**

Показатель	pH	Сухой остаток, мг/дм ³	Взвешенные в-ва, мг/дм ³	Хлориды, мг/дм ³	Сульфаты, мг/дм ³	БПК _п , мгО ₂ /дм ³	Фосфаты, мг/дм ³	NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	Fe _{общ} , мг/дм ³	Mn, мг/дм ³
M	5,73	82,1	9,23	7,4	3,3	3,92	0,29	1,52	1,96	0,13
min	3,95	27,5	2	2,9	1	2,31	0,04	0,08	1,0	0,11
max	7,22	128	22,4	14,9	10,1	6,32	0,92	5,19	3,8	0,14
Среднее для ХМАО [18]	6,48	–	–	10	5,2	2,2	0,12	0,89	2,1	0,08

Примечание. Прочерк – данные в указанном источнике не приводятся.

щих концентрацию в почвах элювиальных и трансэлювиальных фаций (рис. 3.8). Меньше всего аккумулируются в донных отложениях железа и хром ($K_{\lambda} = 0,3$)

Поверхностные воды Белогорского округа отличаются слабокислой реакцией среды, низкой минерализацией, большим количеством аммонийного азота. Содержание общего железа и марганца на уровне среднерегionalных показателей (табл. 3.15).

Сургутский округ

Он расположен на Среднеобской низменности. Это плоская, сильно заболоченная территория с неглубоким врезом речных русел и слабым уклоном поверхности к югу. Наблюдаются незначительные колебания высот и понижение в сторону Оби. Речная сеть врезана неглубоко (не более 15 м). Для округа характерна очень высокая заболоченность (около 65 % площади), причем в центральной его части (Сургутское полесье) наблюдается наивысшая заболоченность на территории ХМАО – до 80 % [135]. Преобладают верховые олиготрофные болотные комплексы с покровом из сфагнума, остатки которого составляют основную часть торфяной залежи. Во второй половине среднего плейстоцена Сургутское полесье было подвержено влиянию с запада и востока льдов Самаровского оледенения и поэтому большая часть плоских равнин сформировалась отложениями водно-ледниковых потоков (fQ₂⁴). Южная часть территории сложена аллювиальными и озерно-аллювиальными породами верхнего плейстоцена с широким распространением болотных отложений (al, laQ₃¹⁻³). К югу, ближе к долине р. Обь, преобладают аллювиальные плейстоценовые отложения (alQ₃³). По механическому составу это пески и суглинки. В Сургутском округе расположен ряд крупных нефтяных месторождений. На территории Лянторского, Тянского, Русскинского, Тевлино-Русскинского, Савуйского, Родникового месторождений насчитывается более 7,4 тыс. пробуренных скважин, протяженность трубопроводов превышает 7,1 тыс. км.

Как особый вид ландшафтно-геохимических комплексов ландшафты Сургутского округа со свойственным им доминированием кислого глеевого класса водной миграции, с олиготрофностью и переувлажненностью были выделены А.И. Перельманом [167]. Ландшафтно-геохимическая структура определяется господством автономных гидроморфных верховых болот с доминированием сосново-кустарничково-сфагновых сообществ. На дренированных участках распространены сосновые с примесью темнохвойных пород и лиственницы кустарничково-лишайниковые и кустарничково-зеленомошные леса.

Описание ландшафтно-геохимической структуры Сургутского округа дается на примере территории Федоровского нефтяного месторождения, расположенного в 30–70 км к северу от г. Сургут. Литогенную основу ландшафтов слагают преимущественно озерно-аллювиальные отложения; преобладают слоистые пески с высоким содержанием фракции мелкого песка (80–90 %) и незначительным количеством фракции ила (до 2–3 %). Пески перемежаются с супесями и тонкими прослоями суглинков. Аллювиальные отложения пойм пестры по литологическому составу и фациально изменчивы. Широкое развитие в пределах Западно-Сибирской равнины слоистых песков, частое чередование пачек разного гранулометрического состава приводят к затруднению дренажа этих пород. Слоистость и двучленность пород также способствуют застою грунтовых вод, глееобразованию и заболачиванию.

Элювиальный тип фаций (Э) занимает относительно незначительные по площади участки локальных повышений среди обширных болотных комплексов плоских водоразделов и представлен кедрово-сосновыми кустарничково-лишайниковыми лесами на песчаных иллювиально-железистых подзолах. Утяжеление механического состава почв индицируется присутствием в составе древостоя лиственницы, ели и пихты, а в травяно-кустарничковом ярусе – багульника и бореального мелкотравья, но суглинистый вариант встречается редко. Заболоченные водоразделы с сосново-кустарничково-сфагновыми и грядово-мочажинными болотными олиготрофными комплексами отнесены нами к автономному гидроморфному типу фаций (АГ). Трансэлювиально-аккумулятивный тип (ТЭА) распространен на приречных террасах и представлен сосновыми багульниково-зеленомошными лесами на торфяно-подзолах, кустарничково-лишайниково-зеленомошными лесами на подзолах глеевых. Понижения приречных террас на контакте с болотами заняты полугидроморфными елово-сосновыми багульниково-моховыми лесами на глееподзолистых почвах (трансаккумулятивный полугидроморфный тип фаций – ТА1). Низкие, заболоченные участки террас с болотами переходного типа (травяно-осоковыми, осоково-гипновыми) отнесены к трансаккумулятивному гидроморфному типу фаций (ТА2). Поймы малых рек (супер-субаквальные аккумулятивно-транзитные ландшафты – ССА) заняты сериями луговых травянисто-злаковых и кустарниковых сообществ низкого уровня и кедрово-березово-сосновых кустарничково-зеленомошных лесов высокой поймы и надпойменных

грия. Субаквальные ландшафты охарактеризованы составом донных отложений рек (СА1) и озер (СА2).

Вычисленные кларки концентрации для различных типов фаций (табл. 3.16) свидетельствуют о значительной пространственной дифференциации химического состава при общем недостатке практически всех микроэлементов. Только геохимически инертный цирконий содержится в повышенных количествах. Особенно бедным составом характеризуются почвы верховых и переходных болот. Содержание микроэлементов в торфе составляет десятые и сотые доли кларков. Бедный состав характерен и для элювиальных фаций из-за обедненного состава литогенной основы. В почвах приречных террас, пойм и минеральных островов содержание микроэлементов по сравнению с их содержанием в болотных фациях несколько увеличивается. Это увеличение особенно заметно по титану, цирконию и по свинцу: в некоторых пробах кларки концентрации последних достигают 2,0–2,7. Спорадически повышенные уровни тяжелых металлов и фосфора встречаются в донных отложениях озер и рек. Среднее значение кларков концентраций свидетельствует о крайне бедном микроэлементном составе почв ($R_k = 0,15–0,55$).

Таблица 3.16

Кларки концентраций микроэлементов в почвах различных типов фаций (Федоровское месторождение)

Элемент	Тип фации							
	Э	АГ	ТЭА	ТА1	ТА2	ССА	СА1	СА2
Mn	0,15	0,61	0,26	0,50	0,05	0,6	0,41	0,23
V	0,05	0,05	0,09	0,14	0,02	0,33	0,06	0,02
Ti	0,35	0,72	0,75	0,74	0,05	1,33	0,49	0,37
Cr	0,18	0,24	0,15	0,16	0,09	0,2	0,17	0,24
Zr	1,18	0,81	1,51	2,35	1,29	2,35	2,25	1,91
Be	0,15	0,14	0,02	0,10	0,05	0,05	0,26	0,39
Y	0,89	0,77	0,85	1,03	1,16	1	0,92	1,55
Sc	1,00	0,15	0,15	1,50	0,15	0,15	2,33	2,50
Ba	0,15	0,28	0,08	0,15	0,18	0,46	0,28	0,31
Sr	0,04	0,35	0,02	0,29	0,15	0,05	0,39	0,29
Nb	0,04	0,05	0,40	0,38	0,05	0,5	0,28	0,25
Ni	0,07	0,09	0,10	0,17	0,09	0,17	0,16	0,23
Co	0,02	0,02	0,05	0,13	0,02	0,22	0,08	0,22
Cu	0,16	0,06	0,26	0,28	0,03	0,26	0,23	0,37
Zn	0,07	0,31	0,15	0,15	0,06	0,48	0,24	0,00
Pb	0,46	0,23	0,48	0,66	0,14	0,94	0,66	0,78
Sn	0,02	0,09	0,07	0,20	0,09	0,4	0,11	0,20
P	0,31	0,46	0,47	0,40	0,36	0,54	0,59	0,91
Ga	0,17	0,05	0,28	0,36	0,05	0,79	1,22	0,16
R_k	0,27	0,15	0,31	0,48	0,19	0,53	0,55	0,55

Распределение тяжелых металлов в почвах зависит прежде всего от накопления на биогенном геохимическом барьере. Для болотных почв характерно накопление относительно подзолистых почв марганца и цинка, однако не выявлено накопление свинца, обычное в других ландшафтно-геохимических округах. Свойственный болотным почвам процесс накопления халькофильных элементов здесь ослаблен. Лишь некоторое увеличение свинца и фосфора в донных отложениях аквальных ландшафтов можно объяснить его миграцией и накоплением на сорбционном барьере.

Среднее содержание микроэлементов в почвах Сургутского округа представлено в табл. 3.17.

Суммарный коэффициент накопления R_k равен 0,57, что свидетельствует о крайне бедном микроэлементном составе почв округа. Рассчитанный показатель меньше, чем значение R_k для заболоченных озерно- и водно-ледниковых равнин ЯНАО, по данным Е.П. Сорокиной с соавторами [211]. Таким образом, вследствие обедненного состава почвообразующих пород и преобладания гидроморфных ландшафтов об-

Таблица 3.17

**Содержание микроэлементов, мг/кг, в почвах
Сургутского ландшафтно-геохимического округа ($n = 35$)**

Элемент	M	min	max	SD	K_k
Mn	254	10	800	247	0,30
V	17,9	10	60	16,5	0,18
Ti	1935	200	10000	2597	0,43
Cr	34,7	10	100	30,4	0,17
Zr	240	30	800	178	0,80
Be	0,8	0,5	3	0,7	0,13
Y	20,9	10	80	15,4	0,72
Yb	0,5	1	5	1,0	1,52
Sc	14,7	10	60	11,3	0,65
Ba	159	100	800	146	0,32
Sr	138	100	1000	158	0,46
Nb	6,7	5	12	2,5	0,34
Li	5,9	5	12	2,1	0,20
Ni	9,4	2	40	11,8	0,24
Co	3,1	2	10	2,2	0,31
Cu	10,1	5	30	7,5	0,51
Zn	22,1	20	120	25,4	0,44
Pb	7,1	2	30	7,5	0,71
Sn	0,68	0,5	1,5	0,32	0,07
Ag	0,017	0,001	0,06	0,016	0,17
Cd	1,85	1	8	1,92	3,70
P	326,5	50	1500	245,3	0,41
Ga	5,6	5	15	4,3	0,29

щая биогеохимическая ситуация неблагоприятна. Содержание микроэлементов, необходимых для биоты, понижено. Крайне низкое содержание микроэлементов в преобладающих торфяных почвах позволило охарактеризовать территорию среднего Приобья как сильную отрицательную геохимическую аномалию [39].

Кондинский округ

Округ, совпадающий с бассейном р. Конда, расположен в пределах Кондинской низменности с абсолютными отметками поверхности 70–80 м. В генетическом отношении территория бассейна представляет собой обширную озерно-аллювиальную равнину. Помимо озерно-аллювиальных отложений, в составе четвертичных отложений принимают участие водно-ледниковые и биогенные голоценовые озерно-болотные отложения. По составу преобладают суглинки средние и легкие, торф [16]. Песчаные породы распространены на севере округа и на приречных участках. Очень велика заболоченность, составляющая около 70 % территории [119].

Описание особенностей вещественного состава различных компонентов ландшафта дается на примере природного парка “Кондинские озера” и сопредельного с ним Тальникового месторождения. Здесь, в автономных элювиальных условиях, на положительных элементах рельефа пологоволнистых водоразделов распространены сосняки лишайниковые на иллювиально-железистых подзолах. На плоских водоразделах преобладают бугристые сосново-кустарничково-сфагновые болота. Полугидроморфные трансэлювиально-аккумулятивные фации сосняков кустарничково-мелкотравно-моховых и кустарничково-сфагновых на подзолах грунтово-глеевых и торфяно-подзолах распространены в нижних частях пологих склонов водоразделов в условиях переменного водного режима.

Преобладают почвообразующие породы легкого механического состава. Широкое распространение песчаных пород определило доминирование в автоморфных условиях Al-Fe-гумусового процесса. При слабой дренированности сочетание торфонакопления и Al-Fe-гумусового процесса приводит к формированию торфяно-подзолов. Ландшафты эволюционно молоды, о чем свидетельствует незначительная мощность торфяного горизонта болотных почв, которая в условиях водоразделов не превышает 1 м.

Внутрипрофильная дифференциация микроэлементов в подзолах соответствует типичному элювиально-иллювиальному распределению с минимумом в горизонте E и увеличением в иллювиальных горизонтах содержания сидерофильных Ni, Co, Cr. За счет биологического накопления в напочвенной подстилке аккумулируются Cu, Mn, Pb, Zn. Медь, марганец и свинец имеют достоверную положительную корреляцию с содержанием гумуса, т. е. содержатся в почве в виде органоминеральных комплексов.

Трансэлювиально-аккумулятивный тип фаций представлен в нижних частях склонов пологоволнистых водоразделов сосновыми и елово-

сосновыми багульниково-зеленомошными лесами на торфяно-подзолах. В почвах под слоем слаборазложившегося мохового очеса залегает торфяной горизонт мощностью 10–15 см. Под ним расположен песчаный подзолистый горизонт светло-серого цвета мощностью 15–25 см. На глубине 35–40 см его сменяет иллювиальный горизонт ВНfg темно-бурого цвета, с включениями ортзандов железа. Торфяно-подзолы имеют сильнокислую реакцию почвенного профиля ($pH_{\text{сoл}} = 3,4\text{--}3,7$), отличаются низким содержанием элементов минерального питания растений. Содержание гумуса несколько выше, чем в иллювиально-железистых подзолах (1,4–2,5 %). Элементы минерального питания растений – фосфор и кальций содержатся главным образом в торфяном и иллювиальном горизонтах.

Содержание микроэлементов в профиле торфяно-подзолов сходно с распределением микроэлементов в иллювиально-железистых подзолах. Наименьшее содержание наблюдается в подзолистом горизонте, элементы интенсивного биологического накопления (марганец, медь, цинк и свинец) имеют максимум содержания в поверхностном торфяном горизонте, содержание никеля, кобальта и хрома возрастает на контакте с почвообразующей породой. Таким образом, торфяной горизонт выступает в качестве накопителя халькофильных элементов (свинца, меди, цинка), что связано с их аккумуляцией растительностью в условиях переувлажненных ландшафтов кислого глеевого класса.

В пределах слабодренированных надпойменных террас представлен трансаккумулятивный полугидроморфный тип фаций, наиболее типичными для которого являются сосново-темнохвойные кустарничково-мелкотравно-зеленомошные леса на глеево-подзолистых почвах. Для глеево-подзолистых почв, развитых на породах тяжелого механического состава, характерно повышенное содержание гумуса по сравнению с подзолами. Также выше и обменная емкость, однако содержание элементов минерального питания (особенно азота) невелико и не превышает 0,1 %. Содержание обменных оснований изменяется от 1,6 до 3,7 ммоль/100 г почвы, с максимумом в верхних подзолистых горизонтах.

Плоские водораздельные пространства заняты олиготрофными верховыми болотными комплексами. Вследствие преобладания песчаных пород условия для заболачивания не очень благоприятны, что проявляется в относительно небольшой мощности торфяного слоя, который в исследованных почвенных разрезах редко превышал 80 см. Торф средне- и слаборазложившийся, сфагновый. Обычно над слоем торфа располагается мощный, до 12–15 см, слой очеса сфагновых мхов. Под торфяным горизонтом лежит горизонт Bg, как правило, супесчаный или песчаный, серо-сизого цвета. Болотные верховые почвы имеют сильнокислую реакцию среды ($pH_{\text{сoл}} = 3,5\text{--}4,0$). В торфяном горизонте сосредоточены основные запасы общего азота, подвижного фосфора и обменных катионов. Содержание азота очень низкое и в минеральных горизонтах составляет 0,1–0,2 %.

При анализе микроэлементного состава болотных верховых почв обращает на себя внимание высокое содержание свинца, которое в среднем составляет 36 мг/кг (в расчете на абсолютно сухой вес). Как было показано ранее, процесс накопления свинца в торфе обусловлен поглощением этого элемента болотными растениями. Содержание свинца в торфе болот на порядок превышает содержание в подзолах. Приблизительно такое же соотношение характерно для цинка: в поверхностном горизонте подзолов содержание Zn составляет 5,5, в торфяных почвах – 35,6 мг/кг. В болотных почвах, как и в подзолах, выявлены очень низкие концентрации меди, никеля, хрома, марганца. Можно констатировать, что почвы описываемого участка характеризуются бедным микроэлементным составом. Исключением является свинец, повышенные концентрации которого отмечены в торфяном горизонте болотных почв.

Донные отложения супесчано-песчаного состава с незначительной примесью детрита. Микроэлементный состав донных отложений весьма беден, содержание элементов составляет десятые доли кларка литосферы. Обращает на себя внимание высокое по сравнению с кларком песчаников содержание марганца, что неудивительно, учитывая высокую подвижность этого элемента в ландшафтах кислого глеевого класса. Диапазон варьирования концентрации Mn, Ni, Co в донных отложениях довольно высок, что связано с особенностями седиментации, различиями минералогического состава локальных водосборных бассейнов (табл. 3.18).

Выделяются две группы элементов по особенностям накопления в донных отложениях. Сидерофильные элементы (Cr, Ni, Fe) накапливаются относительно почв (в 2–2,5 раза). Халькофильные элементы (Cu, Zn, Pb) в почвах и донных отложениях содержатся в приблизительно равных концентрациях (рис. 3.9).

Таким образом, формирование ландшафтно-геохимической структуры происходит в условиях слабой выраженности латеральных и радиальных геохимических барьеров, важнейшим из которых является биогенный (торфяной) геохимический барьер – на нем и накапливаются Mn, Zn, Pb.

Таблица 3.18

**Содержание химических веществ
в донных отложениях Тальникового месторождения, мг/кг**

Показатель	Cu	Ni	Co	Mn	Cr	Zn	Pb
<i>M</i>	2,6	5,1	3,1	103	28	15,0	6,5
min	1,3	3,2	1,9	65	15	43	5,1
max	5,5	9,8	5,9	240	56	47	7,8
Кларк литосферы по Виноградову	47	58	18	1000	83	83	16
Кларк песчаников по Turekian & Vedepohl [216]	X	2	0,3	10X	35	16	7

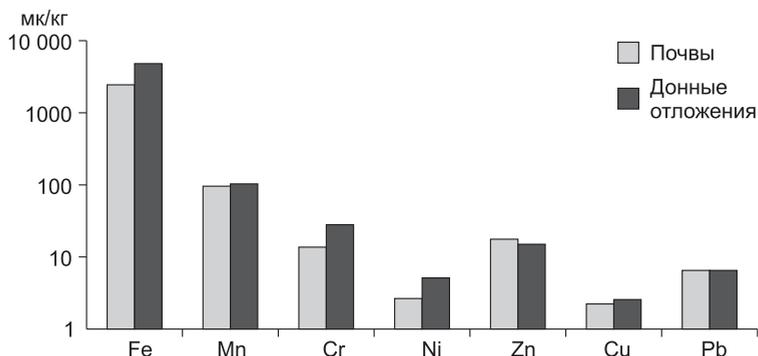


Рис. 3.9. Элементный состав почв ($n = 41$) и донных отложений ($n = 6$) ландшафтно-геохимических катен (Кондинский ландшафтно-геохимический округ)

Юганский округ

Этот округ, расположенный к югу от широтного отрезка Оби, включает в себя бассейны рек Большой Юган и Салым. Облик современного рельефа и главные особенности его строения определены геологической структурой, обязанной характеру проявления новейших тектонических движений в раннем неоплейстоцене–голоцене. Район находится в границах Юганской впадины – отрицательной неотектонической структуры I порядка – с суммарными амплитудами поднятий 0–50 м [160]. Территория округа представляет собой плоскую, местами пологоволнистую озерно-аллювиальную равнину, сложенную преимущественно суглинками. Отличительная черта ландшафтной структуры – широкое развитие гидроморфных и полугидроморфных ландшафтов. Слабая расчлененность рельефа предопределила невысокую дренированность; преобладание почвообразующих пород тяжелого механического состава и застойный водный режим обусловили практически повсеместное проявление оглеения почв. Округ находится в южной части подзоны средней тайги. Для растительности характерно широкое распространение темнохвойных лесов (пихтово-елово-кедровых и березово-темнохвойных зеленомошных), а также вторичных (мелколиственных травяно-зеленомошных). Поймы крупных рек, как правило, покрыты влажными и болотистыми осоковыми и крупнозлаковыми лугами. В центральных частях водоразделов чаще всего встречаются выпуклые олиготрофные верховые болота, среди которых наиболее широко представлены грядово-мочажинные, грядово-озерковые болотные комплексы, а также бугристые сосново-кустарничково-сфагновые болота – рямы. По периферии верховых болотных комплексов отмечаются переходные и низинные болота.

Микроэлементный состав почв Юганского округа более богат, чем состав почв округов с преобладанием ледниковых и водно-ледниковых четвертичных отложений. Превышение кларка выявлено для Ti, Zr, Sc, Pb (табл. 3.19). Почвы, имеющие кислую реакцию, характеризуются до-

Таблица 3.19

**Содержание микроэлементов, мг/кг, в почвах
Юганского ландшафтно-геохимического округа (n = 44)**

Элемент	<i>M</i>	min	max	<i>SD</i>	<i>K_к</i>
Mn	714	300	1200	2633	0,79
V	52	10	80	16,65	0,52
Ti	6667	2000	8000	1534	1,45
Cr	33	20	120	28,3	0,26
Zr	489	150	1000	229	1,63
Y	26,7	1	40	12,8	0,92
Yb	0,2	0,1	0,4	0,1	0,6
Sc	21	1	80	24,2	2,11
Ba	172	10	400	127	0,34
Sr	67	10	300	114	0,22
Nb	7,4	1	15	5,5	0,37
Li	7,3	1	15	5,4	0,24
Ni	28,9	10	50	10,1	0,72
Co	5,7	1	12	2,4	0,57
Cu	18,6	12	30	4,13	0,93
Zn	21,5	40	80	10,2	1,02
Pb	18,3	10	20	2,50	1,54
Sn	1,4	1	2	0,36	0,14
Ga	14,9	8	20	4,0	0,79

вольно высоким содержанием титана, циркония, скандия, превышающим величину кларка в 1,4–2,1 раза. Однако содержание других сидерофильных элементов (Cr, Ni, Co) на низком уровне. Из халькофильных элементов повышено относительно кларка содержание свинца, на уровне кларка содержание Zn и Cu. Содержание Zn минимально в подзолах. Концентрация Mn незначительно ниже почвенного кларка и находится на уровне среднерегionalных значений, составляющих, по данным А.И. Сысо [219], 797 мг/кг.

Для поверхностных вод округа характерны повышенные концентрации многих микро- и макроэлементов. Химические особенности речных и озерных вод определяются такими факторами, как повсеместная заболоченность, расположение в южной полосе подзоны средней тайги с интенсивным биологическим круговоротом, преобладанием ландшафтов кислого глеевого класса, доминированием пород тяжелого механического состава. Поверхностные воды имеют, как правило, слабокислую и нейтральную реакцию, с незначительным ростом величины рН в период открытой воды. Минерализация изменяется от 200–280 мг/дм³ в период зимней межени до 100–150 мг/дм³ в период половодья. Состав вод гидрокарбонатно-кальциевый, содержание соединений азота летом относительно невелико и составляет 0,25–1,0 мг/дм³ (0,5–2,0 ПДК), но возрастает зимой приблизительно в 1,5–2 раза. Микроэлементный состав варьирует довольно незначительно (табл. 3.20).

Таблица 3.20

**Показатели химического состава поверхностных вод, мг/дм³,
Юганский лицензионный участок нефтедобычи**

Показатель	pH	Минерализация	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Fe _{общ}	Mn	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Hg
M	7,16	200,8	0,87	2,9	7,3	0,13	0,0025	0,013	0,004	0,005	0,01	0,026
min	4,27	86,3	0,53	1,9	1,35	0,03	0,001	0,004	0,001	0,002	0,005	0,01
max	7,6	315	1,24	10,5	27,9	0,52	0,006	0,03	0,011	0,01	0,02	0,24
K _x	-	-	-	-	0,78	0,65	0,26	0,78	1,24	0,42	0,59	1,84

Примечание. Прочерк – показатель не рассчитывается.

Воды характеризуются крайне высоким содержанием железа, в среднем составляющим 7,3 мг/дм³ (73 ПДК). Максимальные значения отмечены в р. Большой Юган. При сопоставлении с данными о среднем микроэлементном составе вод притоков Оби [246], в реках бассейна Большого Югана повышено содержание свинца, никеля, марганца, ртути, близко к средним величинам содержание меди. Вычисленные коэффициенты водной миграции K_x максимальны для свинца и ртути. По сравнению со средними коэффициентами водной миграции в речных водах (по Добровольскому [70]) для поверхностных вод рассматриваемой территории характерна повышенная водомиграционная активность железа, марганца, хрома, свинца и никеля и сниженная – для халькофильных меди и цинка. Высокие значения K_x для сидерофильных элементов контрастируют с низкими показателями концентрации их в почвах. Напротив, сниженные значения коэффициента водной миграции меди и цинка выявлены на фоне довольно высокой концентрации этих элементов в почвах (на уровне кларковых величин). Превышение средних значений K_x свинца соответствует высокому содержанию этого элемента в почвах. Таким образом, фактором обеднения почв сидерофильными элементами является относительно высокая подвижность их в водной среде, в то время как халькофильные элементы накапливаются в почве из-за относительно невысокой водомиграционной активности и закрепления на биогеохимических барьерах.

В целом можно констатировать, что закономерности формирования ландшафтно-геохимической структуры таежной зоны Западной Сибири определяются бедным микроэлементным составом литологического субстрата (особенно песчаных пород ледникового и водно-ледникового генезиса), широким распространением восстановительной обстановки, приводящим к интенсивной миграции многих элементов, и обширной заболоченностью со свойственным биогенному почвообразованию накоплением халькофильных элементов (Zn, Pb, Cd). Обобщенные данные о микроэлементном составе почв таежной зоны Западной Сибири, суммированные для всех обследованных ландшафтно-геохимических округов, приведены в табл. 3.21.

Таблица 3.21

Средние показатели регионального фона микроэлементов в почвах таежной зоны Западной Сибири, мг/кг

Ландшафтно-геохимический округ	Mn	V	Ti	Cr	Zr	Y	Sc	Ba	Sr	Ni	Co	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Li	Ga	R _k
Аганский (38)	391 82	29 76	3550 83	47 57	271 74	23 80	16 98	174 68	126 57	17 76	3,7 90	16 50	28 84	14 73	1,2 80	379 88	8,0 52	8,3 71	0,69
Сибирские Увалы (25)	359 70	20 88	3847 69	46 78	362 71	28 35	11 109	161 78	117 41	11 88	3,3 71	15 61	29 69	11 84	0,9 51	302 53	6,0 36	8,7 59	0,73
Казымский (54)	1090 80	40 91	5866 59	60 47	232 55	25 34	31 19	271 44	200 30	24 42	5,3 49	13,4 33	61,0 105	14,3 66	1,37 26	580 28	14,5 90	15 56	0,88
Белогорский (57)	1773 48	109 26	8765 27	76 37	303 83	48 52	33 23	271 35	213 33	37 27	12,6 39	21,4 29	64,2 48	14,4 19	2,14 35	529 26	38 45	21 28	1,21
Сургутский (35)	254 108	18 92	1935 104	35 95	240 74	20 82	14 119	152 91	138 104	9,4 93	3,1 81	10,1 76	22,1 115	7,1 95	0,7 47	303 81	5,9 35	5,6 78	0,57
Юганский (44)	714 39	52 32	6667 23	33 54	489 47	27 48	21 114	200 45	133 57	17 35	5,7 43	18,6 22	21,4 20	18,3 16	1,4 25	233 60	8,9 35	15 27	0,79
Самотлорский (79)	377 113	29 109	2888 98	39 88	259 54	26 42	15 107	241 71	205 102	17 83	3,4 80	15,2 55	30,9 82	11,0 87	1,0 66	378 55	7,5 57	8,6 70	0,65
Ваховский (32)	1593 41	82 46	8310 31	63 48	314 95	44 113	21 94	207 56	193 56	28 41	7,9 47	18,5 29	46 59	13,9 27	1,9 39	521 30	33 83	20 34	1,01
Среднеобской (124)	1690 58	66 63	6423 56	54 57	103 78	38 77	27 59	220 54	148 67	26,0 50	8,6 52	17,4 36	37 76	12,4 39	1,7 48	543 32	31 92	19 45	0,97
Кларк почв [106]	850	100	4600	200	300	29	7	500	300	40	10	20	50	10	10	800	30	19	-
Среднее содержание в почвах Западной Сибири [218]	797	87	3352	84	265	-	-	541	209	42	13	31	73	18	4,8	679	-	-	-

Примечание. В скобках приведено количество проанализированных проб; числитель – среднее содержание, знаменатель – коэффициент вариации, %.

Сопоставление полученных результатов с кларками литосферы и почв свидетельствует, что на территории таежной зоны Западной Сибири уровень содержания большинства микроэлементов в почвах понижен. Особенно обеднены почвы сидерофильными элементами – хромом, никелем, кобальтом. Эти элементы содержатся в почвах в концентрациях, составляющих десятые доли от кларковых величин. Однако также относящийся к сидерофильным элементам марганец очень часто накапливается в почвах. Это относится в первую очередь к почвам, развитым на ледниковых, реже озерно-аллювиальных отложениях тяжелого механического состава. Также довольно высок уровень содержания в почвах малоподвижных титана и циркония. Из халькофильных элементов наиболее обогащены почвы свинцом, концентрация которого, как правило, превышает уровень кларка. Незначительно ниже кларка содержание меди. Концентрация цинка находится на уровне околокларковых величин в ландшафтно-геохимических округах с преобладанием суглинистых почвообразующих пород и уступает им при доминировании песчаных водно-ледниковых отложений. Наиболее богатым микроэлементным составом характеризуются почвы моренных равнин. Почвы участков с доминированием флювиогляциальных отложений обеднены большинством микроэлементов. Относительно богатым микроэлементным составом характеризуются почвы Белогорского и Среднеобского ландшафтно-геохимических округов. Крайне неблагоприятная биогеохимическая ситуация, вследствие обедненного состава почвообразующих пород и преобладания гидроморфных ландшафтов, выявлена в Сургутском ландшафтно-геохимическом округе.

В распределении показателей регионального геохимического фона прослеживается своеобразная ступенчатость: относительное обогащение ландшафтно-геохимических комплексов увалистых повышений и обеднение прилегающих к ним плоских заболоченных равнин, затем – вновь обогащение надпойменных террас крупных рек (Оби и Иртыша).

Почвообразовательный процесс меняет соотношения элементов в почвах и почвообразующих породах. Значительное влияние на состав почв оказывают процессы биологического накопления, что приводит к аккумуляции Pb, Mn, Zn, и интенсивного выноса V, Cr, Sn, Co. В почвах, сформировавшихся на песчаных породах, вертикальное распределение элементов свидетельствует о доминировании процессов биогенной аккумуляции при слабой выраженности других ландшафтно-геохимических барьеров. Для болотных верховых почв характерно низкое содержание элементов минерального питания растений (N, P, K) и гидрогенная аккумуляция железа.

3.4. Геохимические показатели как отражение ландшафтно-геохимической структуры

Перенос веществ в водной среде является одним из важнейших процессов, обеспечивающих круговорот веществ и стабильность биогеохимических циклов. Химический состав вод складывается под воздей-

ствием комплекса факторов – геологических, климатических, биотических, ландшафтных. Особенности ландшафтно-геохимической структуры таежной зоны Западно-Сибирской равнины также оказывают большое влияние на состав поверхностных вод.

Формирование поверхностного стока и гидрохимического режима водных объектов таежной зоны Западной Сибири в значительной степени зависят от климатических условий, в частности от соотношения тепла и влаги. Небольшая сумма годовых температур предопределяет слабую испаряемость. Естественный дренаж грунтовых вод из-за особенностей макро- и мезорельефа на большей части территории ослаблен. Плоский, слаборасчлененный рельеф определяет замедленный поверхностный сток и длительное взаимодействие выпавших атмосферных осадков с почвенно-грунтовой толщей. Ресурсы поверхностных вод севера Западной Сибири состоят из стока рек, ручьев и временных водотоков, запасов, аккумулированных в многочисленных озерах и понижениях рельефа, а также влаги, запасенной в болотах. Чтобы оценить уровень обводненности территории, приведем следующие цифры. Средний годовой сток Оби у Белогорья составляет приблизительно 324 км^3 , а в приустьевую часть за год поступает около 400 км^3 воды [193]. Торфяники ежегодно консервируют около $7,5 \text{ км}^3$ воды, а общее ее количество в торфяных болотах Западной Сибири достигает примерно 1000 км^3 [34]. Сколько воды сконцентрировано в многочисленных озерах, в том числе мелких внутриболотных, подсчитать очень затруднительно ввиду их многочисленности и отсутствия систематических гидрографических наблюдений.

Состав поверхностных вод в значительной степени определяется источниками питания. Длительный зимний период приводит к преобладанию в годовом водном балансе доли снегового питания, составляющей в среднем около 50 % [84]. Состав талых снеговых вод отличается крайне малая минерализация, величина которой в таежной зоне Западной Сибири не более $20\text{--}30 \text{ мг/дм}^3$ [75], поэтому для рек с преобладанием снегового питания генетически характерны пониженная минерализация и крайне малая жесткость. За счет техногенной составляющей возможно возрастание минерализации атмосферных осадков от $23,7$ до $56,2 \text{ мг/дм}^3$ [241], однако фактор техногенеза проявляется ограниченно.

Несмотря на ведущую роль атмосферных осадков в формировании поверхностного стока, существуют глубокие различия между их гидрохимическими показателями и составом природных вод. Один из основоположников отечественной гидрохимии, О.А. Алейкин [3], сопоставив средний состав атмосферных осадков со средним составом речных вод, пришел к выводу, что минеральные соли, выносимые осадками в речной сток, в среднем для европейской территории России составляют 32 % от солевого содержания. Остальная часть ионного стока формируется в почвенно-грунтовой толще. Для Западной Сибири подобные подсчеты были проведены С.Л. Шварцевым с соавторами [247]. Согласно

полученным результатам, доля биогенной составляющей в формировании химического состава подземных вод Западной Сибири составляет около 60 %, доля атмосферной составляющей – 14 %. Таким образом, важнейшим фактором формирования химического состава вод являются тип почв, растительности и покровных отложений.

Ведущим фактором, определяющим химические свойства ландшафтов, выступает деятельность фитобиоты. Большая часть вещества, растворенного в речных водах, предварительно прошла через круговорот в системе растительность–почва [149], и поэтому состав поверхностных вод отражает ландшафтно-геохимическую структуру территории. Разложение растительных остатков в почвах поставляет в воду углекислый газ, который при растворении образует анион HCO_3^- . Преобладание в водах кальция объясняется тем, что при разложении растительных остатков он в наибольшем количестве поступает в воды [168].

Самое характерное свойство ландшафтной структуры таежной зоны Западной Сибири – значительная заболоченность. Истоки рек, как правило, лежат на заболоченных водоразделах, где формируются воды с малой минерализацией, высокой окисляемостью и цветностью. Характерными особенностями химического состава болотных вод являются высокая кислотность, большое количество органического вещества, низкое содержание растворенного кислорода. Гуминовые вещества, образующиеся в результате сложных биохимических процессов при разложении отмерших растений, вымываются из органической массы торфов, лесной подстилки, извлекаются из почв и придают воде коричневый оттенок. Кислая реакция среды и большое содержание органических веществ определяют высокую подвижность многих микроэлементов. Благодаря болотам и органическому веществу почв в водоносных горизонтах формируется кислая восстановительная обстановка, благоприятная для миграции многих микро- и макроэлементов, особенно для железа и марганца. В верховых болотах показатели относительного участия железа в процессе биогенной миграции в 10 раз, а в водной миграции – почти в 50 раз выше, чем в лесах [153]. В водах преобладают комплексные соединения Fe^{3+} с фульвокислотами. Процесс комплексобразования приводит к резкому усилению миграционной способности Fe^{3+} даже в кислородсодержащих подземных водах [203].

Влияние болот характерно также для подземных вод зоны гипергеза. В водообмене многопластовой, гидравлически взаимосвязанной подземной водоносной системы бассейнов стока таежно-болотных ландшафтов значительная роль принадлежит водам олиготрофных торфяников, которые питают и регулируют водоносные горизонты четвертичных и кайнозойско-меловых горизонтов [202].

Обогащение поверхностных вод органическими кислотами характерно не только для болотных, но и для лесных геосистем. На водосборах с доминированием лесной растительности поверхностные воды выщелачивают из верхнего горизонта почв продукты разложения растительных и животных остатков и обогащаются органическими веществами

гумусового происхождения, что проявляется в повышении цветности воды, снижении величины рН, ослаблении выраженности гидрокарбонатного характера воды, которое связано с относительным повышением содержания сульфат-иона [185]. Обогащение вод органическими веществами связано и с длительным половодьем. Период половодья на крупных реках Сибири часто растянут во времени и составляет от 2 до 4 мес в зависимости от водности года. Длительный период затопления обширных пойменных пространств усиливает влияние биолого-почвенных факторов формирования химического состава речных вод. Это находит свое выражение в увеличении содержания соединений азота, фенолов, образующихся в результате разложения остатков растений.

Практически все воды рек и озер таежной зоны Западной Сибири относятся к пресным либо ультрапресным, с минерализацией, составляющей в летний период не более 200 и в зимний – не более 400 мг/дм³. Причиной малой минерализации является преобладание атмосферного питания, а также значительная заболоченность водоразделов с преобладанием верховых торфяников. Низкая минерализация связана также с процессами сезонного промерзания поверхностного слоя грунтов, из-за чего талые воды не могут обогащаться солями, вымывая только те, которые можно выщелочить из поверхностного слоя почвы [4]. Определенное значение для формирования состава подземных и поверхностных вод имеют также процессы криогенного метаморфизма – изменения концентрации и соотношения главных ионов в результате процессов промерзания–протаивания грунтов. Известно, что наиболее значительной криогенной метаморфизации подвержены воды, в составе которых содержатся в больших количествах гидрокарбонаты и сульфаты щелочных металлов, интенсивно выпадающие в осадок даже при небольшом понижении температуры. Неоднократное повторение процесса промерзания пород снижает соленасыщенность грунтовых вод в несколько раз, в результате чего воды нередко превращаются в ультрапресные. Большое значение имеет состав четвертичных отложений, слагающих водосборный бассейн. Широкое распространение водно-ледниковых отложений песчаного и супесчаного состава, характерное для северных районов Западной Сибири, в значительной степени определяет пониженную минерализацию речных вод.

Реки, формирующиеся в пределах малых водосборов таежной зоны Западной Сибири, обычно имеют минерализацию меньше, чем Иртыш и Обь, истоки которых располагаются в степной и полупустынной зонах. Средняя минерализация вод Иртыша в нижнем течении, вблизи впадения в Обь, составляет, по данным мониторинговых наблюдений, 164 мг/дм³ в период летне-осенней межени [18]. За счет вод Иртыша увеличивается минерализация вод Оби, фиксируемая в районе пос. Белогорье [229]. Самая низкая минерализация характерна для рек, имеющих истоки на водосборах с доминированием верховых олиготрофных болот. Средняя величина минерализации воды таких рек (Казым, Пим, Согом, Тромъеган, Назым, Большой Юган) в период летней межени не превышает 100 мг/дм³ (рис. 3.10).

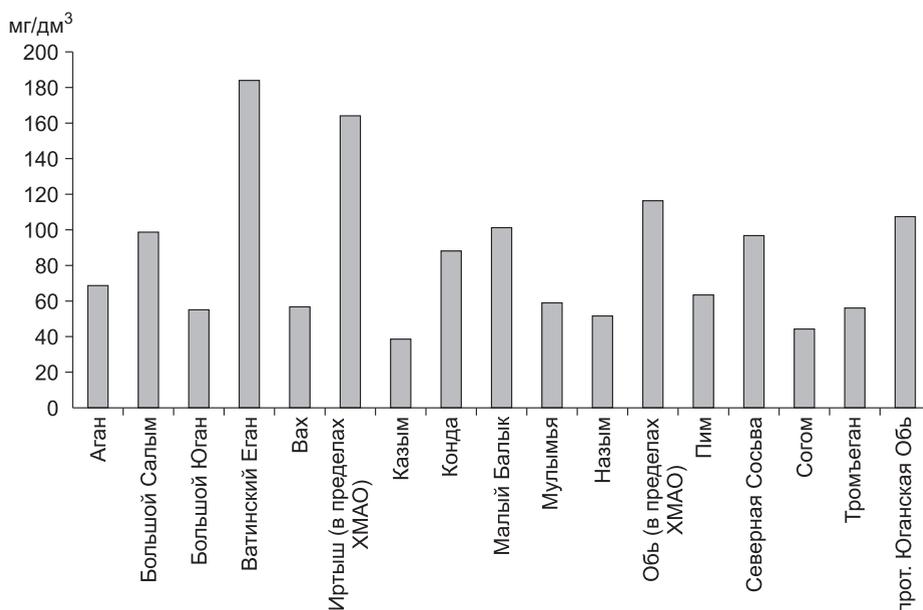


Рис. 3.10. Средняя минерализация вод таежной зоны Западной Сибири (период летней межени)

Поскольку поверхностные воды округа отличаются низкой минерализацией, абсолютное содержание главных ионов в них также невелико. Статистические показатели анионного состава вод округа приводятся в табл. 3.22.

Преобладание гидрокарбонат-иона среди анионов и кальция среди катионов является основным свойством ионного состава поверхностных вод таежной зоны Западной Сибири. В р. Обь, на отрезке от восточной границы ХМАО до впадения Иртыша, содержание гидрокарбонатов составляет 70–95 мг/дм³, или 80–85 экв.% от всей суммы анионов. Нужно отметить, что в пределах ХМАО концентрация гидрокарбонатов в р. Обь ниже, чем в Томской области, где в среднем она составляет 126 мг/дм³ [248]. В отдельных случаях на участках нефтедобычи отмечается повышение концентрации гидрокарбонатов в меженный период до 100–120 мг/дм³. Минимальное содержание гидрокарбонатов фиксируется в реках, питающихся за счет болотных вод. Содержание гидрокарбонатов менее 20 мг/дм³ было зафиксировано в воде малых рек – притоков рек Тромъеган и Ватьеган, водосборы которых отличаются крайне высокой заболоченностью. По данным 10-летних наблюдений, из крупных притоков Оби минимально содержание гидрокарбонатов в воде рек Пим и Аган, средние концентрации НСО₃⁻ в воде которых составляют 28,7 и 34,3 мг/дм³ соответственно (см. табл. 3.22).

Концентрация хлоридов и сульфатов в поверхностных водах подвержена значительным сезонным колебаниям, коррелирующим с изменением общей минерализации воды. В летний период содержание хло-

Таблица 3.22

**Статистические параметры содержания главных анионов
в речных водах таежной зоны Западной Сибири**

Водный объект	<i>n</i>	<i>M</i> , мг/дм ³	<i>Me</i> , мг/дм ³	min-max, мг/дм ³
<i>Гидрокарбонаты</i>				
Аган	367	34,3	25,6	0,2–244
Ватинский Еган	234	115,6	97,6	1,8–268
Вах	278	62,8	61,0	1,5–146
Обь (в пределах ХМАО)	355	90,4	88,5	12–281
Пим	139	28,7	24,4	0,5–183
Тромъеган	103	56,4	54,9	0,5–104
В среднем	6308	50,1	32,7	0,2–1464
<i>Сульфаты</i>				
Аган	573	6,2	2,8	0,1–63,2
Ватинский Еган	462	6,4	2,0	0,1–567
Вах	901	3,6	2,0	0,1–43,8
Обь (в пределах ХМАО)	751	6,8	5,6	0,1–47,9
Тромъеган	84	18,2	15,6	5,5–192
В среднем	13 698	9,0	5,2	0,1–2063
<i>Хлориды</i>				
Аган	2084	14,9	10,8	0,5–484
Ватинский Еган	2001	191,0	92,0	0,5–2588
Вах	1800	4,1	2,9	0,5–468
Обь (в пределах ХМАО)	3652	8,9	5,0	0,5–1500
Пим	1721	10,6	9,7	0,2–134
Тромъеган	960	12,0	10,0	0,2–163
В среднем по округу	96 824	42,4	7,1	0,2–200 298

ридов в фоновых условиях обычно не превышает 10–15 мг/дм³. Зимой концентрации хлоридов возрастают пропорционально увеличению общей минерализации речных вод, достигая величин 20–25 мг/дм³. Концентрация сульфатов в реках ХМАО составляет в среднем 6,3–6,9 мг/дм³ [140].

Ландшафтно-геохимические условия существенно влияют на содержание ионов Cl⁻ и SO₄⁻. Как правило, истоки рек имеют меньшую минерализацию и меньшее содержание основных анионов, чем устьевые части [229]. Это связано с преобладанием маломинерализованных болотных вод в питании истоков рек. Нужно также отметить, что для содержания хлоридов в поверхностных водах характерна крайне высокая вариабельность как в пространственном, так и во временном аспектах, причем велика доля техногенной составляющей.

Из главных катионов в составе поверхностных вод доминирует кальций. Кальций в зоне гипергенеза, согласно А.И. Перельману, относится к группе элементов сильного биологического накопления и под-

вижных водных мигрантов. Этот элемент охарактеризован им как “главный металл живого вещества, который при разложении растительного вещества в наибольшем количестве поступает в воды” [166, с. 211]. В маломинерализованных водах кальций находится преимущественно в ионной форме. Известны довольно устойчивые комплексные соединения Са с органическими веществами, содержащимися в воде. В некоторых маломинерализованных болотных водах до 90–100 % ионов кальция могут быть связаны гумусовыми кислотами. Коэффициент водной миграции кальция, представляющий отношение содержания этого элемента в сухом остатке, полученном из воды рек местного формирования, к содержанию в водовмещающих породах, достигает для таежного Обь-Иртышья величины $K = 41$, превышая коэффициенты водной миграции натрия, калия, магния и серы [153]. Высокие био- и водомиграционные показатели кальция определяются характерными геохимическими чертами таежных ландшафтов Западной Сибири – азотно-кальциевым типом биогеохимического круговорота и гидрокарбонатно-кальциевым типом вод. Таким образом, этот элемент в силу своей высокой биогеохимической активности и интенсивной водной миграции имеет важнейшее значение для функционирования экосистем.

Обобщение данных мониторинговых наблюдений свидетельствует, что среднее содержание кальция в поверхностных водах таежной зоны Западной Сибири составляет 23 мг/дм³, величина медианы – 12,6 мг/дм³ – и это близко среднемировому значению, составляющему 15 мг/дм³ [262]. Максимальные концентрации кальция отмечены в реках Обь и Ватинский Еган (табл. 3.23). Для Ватинского Егана рост содержания кальция коррелирует с ростом минерализации вследствие поступления пластовых вод, утечек из шламовых амбаров.

Таблица 3.23

**Содержание ионов кальция в речных водах таежной зоны
Западной Сибири, мг/дм³**

Водный объект	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Me</i>	min-max
р. Аган	85	10,2	8,4	2,8–52
р. Большой Балык	12	24,1	14,8	6,6–51
р. Ватинский Еган	223	38,2	30,0	2,4–601
р. Вах	181	10,1	9,0	1–140
р. Гун-Еган	41	14,2	7,0	3–46
р. Ершова	61	31,9	21,0	5–160
р. Люк-Колекъеган	124	30,9	24,0	3–159
р. Куй-Еган	58	54,7	40,1	14–188
р. Обь (в пределах ХМАО)	138	23,9	23,7	4,4–82
Прот. Лангепас	72	29,6	26,4	3,8–158
р. Юх-Еган	38	30,6	14,0	4–100
В среднем	2711	23,2	12,6	0,5–3096

Нужно отметить, что среднее содержание кальция в водах Оби в пределах ХМАО (24 мг/дм³) несколько меньше, чем оно наблюдается выше по течению, в пределах Томской области, где среднее содержание кальция в Оби составляет 32 мг/дм³ [248]. Таким образом, снижение концентрации кальция в воде Оби вниз по течению происходит в соответствии с общим снижением минерализации.

Поверхностные воды таежной зоны Западной Сибири довольно сильно различаются по содержанию ионов кальция. Воды малых рек, берущих начало на заболоченных водосборах, обеднены этим элементом. В болотно-таежных ландшафтах Западной Сибири кальций преимущественно содержится в живом веществе и интенсивно извлекается биотой из водных растворов. В большинстве водных объектов среднее содержание кальция ниже уже упоминавшегося среднемирового 15 мг/дм³ [262]. Повышенная концентрация ионов Са²⁺, помимо рек Обь и Ватинский Еган, была зафиксирована в реках, пересекающих интенсивно разрабатываемые нефтяные месторождения – Самогортское (реки Куй-Еган, Юх-Еган, Люк-Колекъеган, Урьевский Еган, Ершовая) и Мамонтовское (реки Большой Балык, Пыть-Ях). Процессы техногенеза, сопровождающиеся значительными по площади нарушениями структуры почвенного и растительного покровов, нарушают биогеохимические циклы миграции вещества. Увеличение содержания кальция в водах на участках техногенеза связано с усилением его водной миграции при ослаблении активности биоты.

Магний в водах таежной зоны Западной Сибири, как правило, содержится в количествах меньших, чем кальций. Отчетливо выражена тенденция к снижению концентрации ионов магния на широтном отрезке Оби. Если в пределах Томской области средняя концентрация магния в р. Обь составляет 6,9 мг/дм³ [248], то за счет поступления маломинерализованных вод с заболоченных водосборов в пределах ХМАО концентрация магния в Оби постепенно снижается до 2–5 мг/дм³. В районе пос. Соснино (восточная граница ХМАО) средняя концентрация магния составила 5 мг/дм³, в районе г. Нижневартовск – 3,9 мг/дм³. По данным В.И. Уваровой [230], ниже Сургута среднегодовая концентрация Mg меняется от 1,8 до 4,2 мг/дм³. Ниже впадения Иртыша наблюдается увеличение концентрации магния пропорционально увеличению минерализации. В Иртыше концентрация магния составляет 8–15 мг/дм³. Также повышенной концентрацией ионов магния отличаются реки, дренирующие территорию Самогортского месторождения (Ватинский Еган, Куй-Еган, Люк-Колекъеган), что вызвано техногенными факторами. Минимально содержание магния (на уровне 2–4 мг/дм³) в реках Пим и Тромъеган, т. е. в реках, протекающих по плоским заболоченным водосборным бассейнам Сургутского ландшафтно-геохимического округа (табл. 3.24).

Как показали исследования на территории природного парка “Нумто” (Казымский ландшафтно-геохимический округ), концентрация магния в поверхностных водах зависит от водности реки. В наиболее

Таблица 3.24

**Содержание ионов магния в речных водах таежной зоны
Западной Сибири, мг/дм³**

Водный объект	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Me</i>	min-max
Аган	83	5,9	3,9	1,5–70
Ватинский Еган	220	9,6	8,5	0,2–29
Вах	178	3,5	3,6	0,4–8,5
Ингу-Ягун	69	2,9	1,4	0,4–10
Куй-Еган	57	10,7	6,7	1,2–31,6
Люк-Колекъеган	125	8,1	5,2	0,6–35,3
Малый Балык	12	6,6	4,0	2,3–11
Сарт-Еган	64	6,4	6,3	0,6–36
Обь (в пределах ХМАО)	206	9,8	6,1	1,9–96
Пим	107	2,4	2,4	0,3–12
Тромъеган	101	3,0	2,7	0,5–9,7
В среднем по ХМАО	4225	6,0	3,6	0,1–313

крупном водотоке (р. Казым) концентрация магния составляет 2,5–3,3 мг/дм³, в его притоках 1,8–1,9 мг/дм³, а в малых внутриболотных ручьях и озерах – менее 1 мг/дм³. Таким образом, в водах верховых болот, за счет которых происходит в теплое время питание малых рек и озер, содержание магния минимально.

На территории ХМАО содержание магния в поверхностных водах (медиана) составляет 3,6 мг/дм³, что близко к среднемировому показателю, равному 4,1 мг/дм³ [262].

Рассматривая влияние ландшафтных факторов на гидрохимические показатели, можно отметить, что реки, формирующиеся на заболоченных водоразделах Казымского и Сургутского ландшафтно-геохимического округов (Казым, Пим, Тромъеган и их притоки), отличаются очень низкой минерализацией, в период открытой воды редко превышающей 50–60 мг/дм³. Среди анионов ясно выражено преобладание гидрокарбонатов, в катионном составе обычно доминирует кальций, за исключением р. Казым, в составе вод которой содержание магния, натрия и кальция в %-эквивалентной форме примерно одинаково и варьирует в течение года. Обобщенные гидрохимические параметры рек ХМАО отражены в виде формул Курлова (табл. 3.25).

Река Обь в восточной части округа по составу главных ионов является типичной среднетаежной рекой и отличается абсолютным доминированием гидрокарбонат-иона (более 80 экв.%) и ионов кальция (более 60 экв.%). Среднегодовая минерализация Оби составляет 150 мг/дм³ на границе округа (пос. Соснино). Влияние заболоченных водосборов Юганского и Сургутского ландшафтно-геохимических округов проявляется в постепенном снижении минерализации по мере впадения притоков. После впадения Иртыша наблюдается увеличение минерализации, затем этот показатель вновь снижается за счет разбавления водами притоков.

Таблица 3.25

Ионный состав рек таежной зоны Западной Сибири

Водный объект	pH	Гидрохимическая формула
Аган	6,52	64 $\frac{\text{HCO}_3 \ 62 \ \text{Cl} \ 28 \ \text{SO}_4 \ 10}{\text{Ca} \ 54 \ \text{Mg} \ 24 \ \text{Na} \ 22}$
Большой Юган	6,39	78 $\frac{\text{HCO}_3 \ 74 \ \text{Cl} \ 14 \ \text{SO}_4 \ 12}{\text{Ca} \ 34 \ \text{Mg} \ 34 \ \text{Na} \ 32}$
Ватинский Еган	6,87	384 $\frac{\text{Cl} \ 89 \ \text{HCO}_3 \ 10}{\text{Na} \ 60 \ \text{Ca} \ 28 \ \text{Mg} \ 11}$
Казым	6,23	43 $\frac{\text{HCO}_3 \ 65 \ \text{Cl} \ 22 \ \text{SO}_4 \ 13}{\text{Ca} \ 50 \ \text{Mg} \ 29 \ \text{Na} \ 21}$
Конда	6,76	85 $\frac{\text{HCO}_3 \ 77 \ \text{Cl} \ 12 \ \text{SO}_4 \ 11}{\text{Na} \ 42 \ \text{Ca} \ 32 \ \text{Mg} \ 26}$
Обь (восточная граница ХМАО)	7,30	151 $\frac{\text{HCO}_3 \ 86 \ \text{SO}_4 \ 8 \ \text{Cl} \ 6}{\text{Ca} \ 68 \ \text{Mg} \ 21 \ \text{Na} \ 11}$
Обь (район г. Нижневартовск)	7,16	130 $\frac{\text{HCO}_3 \ 87 \ \text{SO}_4 \ 8 \ \text{Cl} \ 5}{\text{Ca} \ 68 \ \text{Mg} \ 22 \ \text{Na} \ 10}$
Пим	6,32	56 $\frac{\text{HCO}_3 \ 62 \ \text{Cl} \ 25 \ \text{SO}_4 \ 13}{\text{Ca} \ 54 \ \text{Mg} \ 18 \ \text{Na} \ 18}$
Тромъеган	6,47	52 $\frac{\text{HCO}_3 \ 61 \ \text{Cl} \ 29 \ \text{SO}_4 \ 10}{\text{Ca} \ 63 \ \text{Na} \ 25 \ \text{Mg} \ 12}$

Своеобразным составом отличается вода р. Северная Сосьва, истоки которой лежат в предгорьях Северного и Приполярного Урала. В истоках реки господствуют горные ландшафты с продуктами выветривания сланцев и кварцитов, с низкими показателями биопродуктивности и биологического круговорота. Это вызывает довольно низкое содержание Ca^{2+} (2,2–4,5 мг/дм³), не превышающее содержание в %-эквивалентной форме магния и натрия. Однако ниже по течению доля Ca^{2+} увеличивается и примерно вдвое превышает содержание Mg^{2+} [239].

Анализируя данные о величине водородного показателя в реках, можно отметить, что в малых и средних реках, в особенности берущих начало на болотах, величина водородного показателя сдвинута в сторону подкисления, в то время как в крупных реках – Оби и Иртыше – в сторону подщелачивания.

Показатель pH связан сильной корреляционной связью с показателями минерализации и содержания гидрокарбонат-иона: чем ниже минерализация, тем больше реакция сдвинута в кислую сторону. Малые внутриболотные водотоки имеют крайне низкую минерализацию и низкие величины pH. Этот факт предопределяет значительные пространственные различия в средней величине водородного показателя (рис. 3.11). Наиболее кислые воды характерны для Сургутского и Вахского ландшафтно-геохимических округов, что связано со значительной заболо-

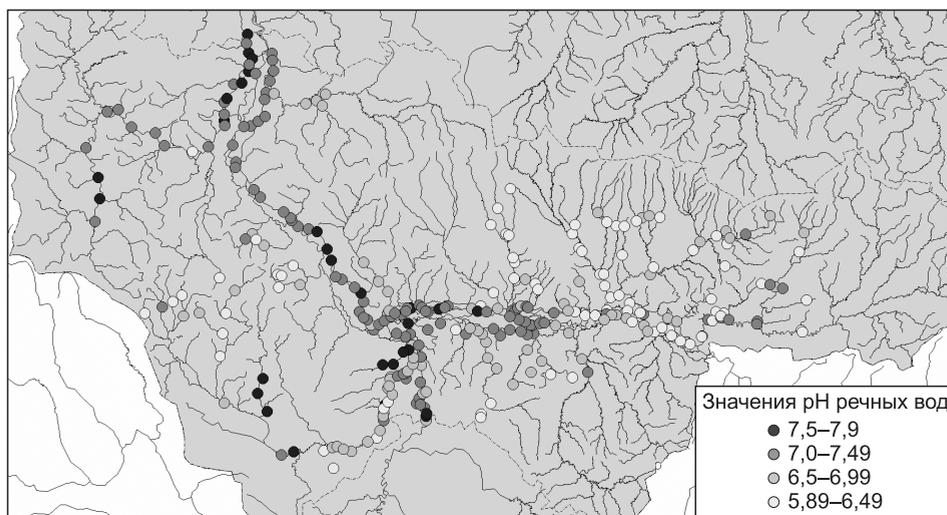


Рис. 3.11. Значения показателя рН в реках ХМАО (летний период)

ченностью. Наиболее кислые воды с низкими значениями рН характерны для рек Сургутского и Вахского ландшафтно-геохимических округов (Пим, Тромъеган, Аган), что связано со значительной заболоченностью водосборов. Относительно высокими значениями рН отличаются Иртыш и Обь.

Сильно сказываются ландшафтные условия на газовом режиме водоемов и содержании органических веществ. Высокое содержание растворенного и взвешенного органического вещества (особенно в водах малых водотоков), наличие в грунтовой воде закисных форм железа определяют интенсивное расходование кислорода. Ежегодно в зимний период в реках происходят “заморы” – гибель водной ихтиофауны вследствие нехватки кислорода. Широко распространены заморные явления на широтном отрезке Оби от устья Васюгана до устья Иртыша. Минимальное количество растворенного кислорода отмечается в зимний период в истоках малых рек, преимущественно в восточной части ХМАО [18].

Важный показатель метаболизма в ландшафте – показатель окисляемости. Из-за переувлажнения недоокисленные органические соединения поступают из почв в речные воды, повышая их окисляемость. Самые высокие показатели присущи поверхностно-болотным и почвенным водам, окисляемость которых более $100 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ [149]. Среднее значение показателя окисляемости, или химического потребления кислорода (ХПК), в летний период в реках таежной зоны Западной Сибири составляет $37,1\text{--}60,7 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ [140]. Отметим, что в соответствии с требованиями к составу и свойствам воды водоемов у пунктов питьевого водопользования величина ХПК не должна превышать $15 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$; в зонах рекреации в водных объектах допускается величина ХПК до $30 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$.

Самая высокая окисляемость характерна для рек, которые питаются за счет болотных вод. Максимальные величины ХПК были отмечены в бассейнах рек Пим, Тромъеган, Большой Юган, наименьшие показатели зафиксированы на р. Северная Сосьва, истоки которой лежат в горах Северного Урала, и площадь болот в бассейне реки мала. Зависимость ХПК от других гидрохимических параметров выражена весьма ярко. ХПК связано положительной корреляционной зависимостью с показателями, характеризующими содержание органики в поверхностных водах – аммонийного и нитратного азота, фосфатов, а также с содержанием марганца. Отрицательная зависимость выявлена между величиной рН и показателями ХПК (чем ниже рН, тем больше окисляемость).

Повсеместное переувлажнение приводит к интенсивному поступлению в гидросеть соединений азота. Атмосферные воды, пройдя через верхний почвенный слой, обогащаются азотом. Общее содержание азота в лизиметрических водах водораздельно-таежной геосистемы Обь-Иртышья составляет 0,7–3,1 (в среднем 1,6) мг/л [149], соответственно в водах рек северной части Западной Сибири содержание азота повышено и составляет 0,8–1,6 мг/дм³ при величине ПДК 0,5 мг/дм³ (табл. 3.26). Отмечалось, что по содержанию азота Обь превосходит другие крупные реки российского севера – Енисей, Лену, Колыму [280]. Таким образом, повышенное содержание в речных водах соединений азота считается региональной гидрохимической особенностью Западной Сибири. Содержание аммонийного азота связано достоверной положительной зависимостью с площадью верховых олиготрофных болот на территории водосборного бассейна ($r = 0,29$) и сильной отрицательной связью – с площадью геосистем, сформировавшихся на песчаных четвертичных отложениях ($r = -0,80$) (здесь и далее корреляция рассчитывалась по табл. 3.26).

Пространственный анализ распределения аммония в речных водах дает основания для вывода о приуроченности максимальных значений к южной части среднетаежной подзоны (Юганский ландшафтно-геохимический округ, реки Большой Юган, Большой Салым). Повышено содержание аммонийного азота и в реках Сугрутского ландшафтно-геохимического округа (реки Пим, Лямин, Тромъеган), отличающегося максимальной заболоченностью. В р. Обь содержание NH_4^+ понижено по сравнению с притоками. Подобная же тенденция распределения нитратного азота выявлена и для сопредельной территории Томской области, где средняя концентрация NO_3^- в притоках в 1,4 раза выше, чем в Оби [246].

Весьма наглядно проявляется роль ландшафтно-геохимических факторов в распределении железа. Известно, что грунтовые кислые воды, формирующиеся в условиях преобладания глеевой восстановительной обстановки, вследствие высокой подвижности железа в этих условиях отличаются повышенным содержанием Fe^{2+} в виде комплексов с солями гуминовых кислот. В сухом остатке болотных вод может содер-

Таблица 3.26
Содержание веществ в речных водах и распределение экологически значимых факторов в различных водосборных бассейнах на территории ХМАО-Югры

Ландшафтно-геохимический округ, водный объект	Среднее содержание				Экологически значимые факторы				Территория с песчано-супесчаными почвообразующими породами, %	
	NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	Fe, мг/дм ³	Mn, мкг/дм ³	Zn, мкг/дм ³	Элементы ландшафтной структуры, % площади округа		Территория, подверженная техногенному воздействию, %	Территория, с песчано-супесчаными почвообразующими породами, %		
					Леса	Верховые олиготрофные сфагновые болота				Кустарничково-лишайниковые бугристые торфяники
Вахский (р. Вах)	0,81	2,5	259	18	61	32	3	4	6,8	15,0
Аганский (р. Аган)	0,76	2,8	161	11	72	15	6	3	2,2	29,9
Сургутский (реки Тромъеган, Лямин, Пим)	1,04	2,0	182	23	35	44	5	16	9,6	16,0
Юганский (реки Большой Юган, Большой Салым, Большой Балык)	1,61	1,8	198	12	61	32	3	4	2,6	7,4
Кондинский (р. Конда)	0,91	1,9	113	11	49	40	<1	9	1,8	22,3

жаться до 7 % железа [149]. Растворенное железо представлено соединениями, находящимися в ионной форме в виде гидроксокомплексов и комплексов с растворенными неорганическими и органическими веществами природных вод. Основная форма нахождения Fe_(III) в поверхностных водах – комплексные соединения с растворенными неорганическими и органическими веществами, главным образом гумусовыми.

Вследствие широкого развития заболачивания содержание железа повышено во всех водных объектах таежной зоны Западной Сибири. Отмечалось [18], что содержание железа в поверхностных водах ХМАО лежит в интервале 1–2 мг/дм³, достаточно часто встречаются концентрации 2–3 мг/дм³. Для сопоставления, среднее содержание железа в речных водах земного шара составляет 0,41 мг/дм³ [216]. Однако для рек таежной зоны концентрация железа на уровне до 10 мг/дм³ является нормой и связана с природными ландшафтно-геохимическими условиями (высокой подвижностью железа в кислой среде и в контрастных окислительно-восстановительных условиях таежных почв). К примеру, в бассейне реки Юкон (Канада) средние концентрации общего железа составляют в период открытой воды 9,8 мг/дм³ [261].

В период половодья, когда реки питаются за счет талых вод, содержание железа минимально и, как правило, не превышает величину 1 мг/дм³. В летнюю межень, когда на состав речных вод оказывает значительное влияние внутриводосточный сток, содержание железа увеличивается в 1,5–2,5 раза (рис. 3.12).

В воде малых рек, дренирующих участки нефтедобычи, содержание железа, как правило, выше, чем в водах Оби, поскольку в их питании большую роль играют воды заболоченных локальных водосборов. Из крупных притоков Оби повышенным содержанием железа отличаются Вах, Аган, Ватинский Еган, Большой Салым, Большой Юган (табл. 3.27).

Высокое содержание железа хорошо соотносится со степенью заболоченности. Однако корреляция между содержанием железа и заболоченностью отсутствует. Напротив, в ландшафтно-геохимических округах с господством верховых сфагновых болот содержание железа в водных объектах ниже, чем при господстве лесов. Максимальная заболоченность, свойственная Сургутскому ландшафтно-геохимическому округу, не проявляется в максимальной концентрации Fe в поверхностных водах из-за общей бедности минералогического и элементного составов литогенной основы и доминирования верховых болот, где контакт атмосферных осадков с минеральной толщей почв ограничен мощным слоем мохового очеса и торфа. Напротив, в Аганском и Вахском ландшафтно-геохимических округах, где площадь лесов превышает площадь болот, содержание железа в речных водах максимально, особенно в случае широкого распространения песчано-супесчаных почвообразующих пород.

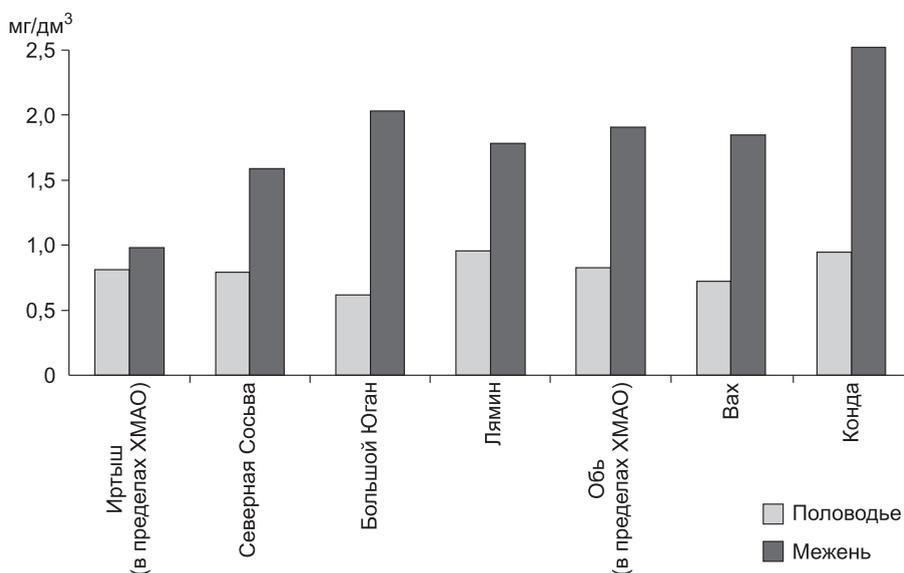


Рис. 3.12. Содержание железа в воде рек таежной зоны Западной Сибири в различные гидрологические сезоны

Таблица 3.27

**Среднее содержание железа, мг/дм³, в водах Оби
и крупнейших притоков на территории ХМАО–Югры, 1995–2011 гг.**

Река	<i>M</i>	<i>Me</i>	<i>n</i>
Обь (в пределах ХМАО)	1,94	1,65	1173
Аган	3,12	2,8	622
Большой Балык	1,52	1,16	148
Большой Салым	2,33	1,60	77
Большой Юган	1,80	1,52	69
Ватинский Еган	4,24	3,02	576
Вах	3,23	2,46	1007
Иртыш (в пределах ХМАО)	1,41	1,33	62
Конда	1,96	1,93	77
Лямин	1,39	1,15	39
Малый Балык	1,63	1,39	148
Малый Салым	1,33	1,23	80
Пим	2,04	1,88	374
Тромъеган	1,98	1,68	191

Многочисленные исследования свидетельствуют, что речные воды Западной Сибири содержат повышенные концентрации марганца. Так, в воде Оби концентрация Mn в период 1995–1998 гг. составляла от 3,2 до 12,9 ПДК [230]. В 2001 г. среднее содержание марганца в речных водах ХМАО было отмечено на уровне 0,15 мг/дм³ (15 ПДК), а в 2003 г. средняя концентрация составила 0,09 мг/дм³ (9 ПДК) при разбросе значений от 0,03 до 0,216 мг/дм³, причем максимальные показатели были зафиксированы в реках Большой Салым, Малый Балык, Конда, Северная Сосьва [140]. Если учитывать, что среднее содержание марганца в речных водах для земного шара в целом составляет 0,008 мг/дм³ [273], то в таежной зоне Западной Сибири содержание этого микроэлемента повышено относительно среднего уровня более чем в 25 раз. Причины этого связаны с особенностями таежных ландшафтов, со свойственной им кислой реакцией почв, широким распространением восстановительной обстановки. Как известно, марганец обладает высокой миграционной способностью в ландшафтах кислого глеевого класса [167], поэтому интенсивно поступает из почв в грунтовые воды и затем – в реки. В международной практике марганец считается малотоксичным для водной биоты элементом, и поэтому его содержание в рыбохозяйственных водоемах не нормируется. В России ПДК_{вр} составляет 10 мкг/дм³. Поступление Mn в речные воды зависит от условий формирования стока. Отмечалось, что в малых реках таежной зоны концентрация этого элемента выше, чем в Оби [246, 248]. Это связано с активной миграцией марганца в условиях ландшафтов кислого глеевого класса.

Как свидетельствуют данные мониторинга, содержание марганца в речных водах ХМАО изменяется в очень широких пределах – от десятых долей до нескольких тысяч микрограммов на кубический дециметр

воды. Известно, что основная форма миграции марганца в речных водах Сибири – взвешенная [103, 153], поэтому различия во многом связаны с варьированием количества взвесей в речных водах. Игруют роль и техногенные факторы, например взмучивание вод приводит к резкому повышению концентраций. Как правило, аномально-высокие концентрации марганца (больше 1000 мкг/дм³) наблюдаются в воде малых рек и ручьев, в конце ледового периода (март–апрель), ниже по течению от места пересечения реки техногенным линейным объектом (трубопроводом, автодорогой). В целом содержание марганца связано отрицательной корреляционной зависимостью с площадью песчано-супесчаных почвообразующих пород ($r = -0,53$) и положительной – с площадью антропогенно-нарушенных геосистем ($r = 0,52$). Анализ распределения аномальных концентраций по гидрологическим сезонам дает основания для вывода о влиянии различий в источниках питания. В период половодья талые воды, формирующие сток, содержат относительно невысокие концентрации Mn, в то время как в период грунтового питания (межень) речные воды отличаются повышенным содержанием этого элемента.

Содержание марганца в последние 6 лет в среднем по округу составляет от 50 до 60 мкг/дм³. Таким образом, для поверхностных вод округа типичным является превышение ПДК в 5–6 раз. Доля проб с превышением ПДК достигает 75–85 %. Очень высокое содержание Mn характерно для некоторых проток Оби, где оно составляет несколько сотен микрограммов на кубический дециметр воды. Максимальное содержание зафиксировано в протоках Ендырская и Большой Пасол, где значение медианы составляет соответственно 278 и 265 мкг/дм³, повышенное содержание характерно также для проток Сигней и Лангепас. Это свидетельствует об интенсивном выносе марганца из почв периодически затопляемых пойменных ландшафтов Оби. Повышенное содержание Mn характерно также для рек Вах, Аган и Иртыш (табл. 3.28).

При сопоставлении современных данных о содержании марганца в р. Обь с результатами гидрохимических исследований 40-летней давности [104] выявляется тенденция к возрастанию миграционной активности этого элемента. Согласно цитируемому источнику, содержание марганца в водах Оби варьировало в 1960-е годы от 13 (Ханты-Мансийск) до 97 мкг/дм³ (район Сургута). Позднее отмечалось, что в период 1995–1998 гг. концентрация Mn в воде Оби составляла от 32 до 129 мкг/дм³ (3,2–12,9 ПДК) [230]. В настоящее время на участках распределенного фонда недр было отмечено изменение от 1 до 1415 мкг/дм³ (величина медианы – 70 мкг/дм³). Выше по течению, на территории Томской области, среднее содержание Mn в водах Оби значительно меньше – 19 мкг/дм³ [246].

На участках, подверженных техногенному влиянию, нередко отмечается содержание марганца, достигающее 1000 мкг/дм³ и более. Расчет коэффициентов корреляции показал, что существует отчетливая отрицательная зависимость между содержанием марганца и прозрач-

Таблица 3.28

**Среднее содержание марганца, мкг/дм³, в водах Оби и притоков
на территории ХМАО–Югры, 2009–2011 гг.**

Водный объект	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Me</i>	min–max
р. Обь (в пределах ХМАО)	581	162	70	1–1415
прот. Большой Пасол	27	800	265	30–2370
прот. Ендырская	72	426	278	1–1410
прот. Лангепас	27	392	100	9–3450
прот. Сигней	24	405	98	5–1700
прот. Юганская Обь	98	141	29	1–1103
р. Аган	108	161	80	3,6–1630
р. Большой Балык	119	235	52	5–1800
р. Большой Салым	68	154	30	5–1280
р. Большой Юган	60	174	30	3,3–1430
р. Ватинский Еган	160	266	70	4,3–3990
р. Вах	232	259	102	5–3050
р. Иртыш (в пределах ХМАО)	38	57	95	5–245
р. Конда	110	113	71	6–886
р. Малый Балык	101	127	38	5–1885
р. Малый Салым	98	128	37	5–1380
р. Пим	101	181	75	1–1030
р. Тромъеган	60	183	60	5–930

ностью речных вод ($r = -0,74$) и слабая, но достоверная корреляция с содержанием взвешенных веществ ($r = 0,49$). Это подтверждает вывод о преимущественно взвешенной форме миграции этого элемента в водах рек Западной Сибири [104]. Таким образом, концентрация Mn возрастает при усилении техногенного влияния, что подтверждается и повышенным содержанием марганца в водах рек, подверженных интенсивному влиянию нефтедобычи – Ватинский Еган, Пим, Аган.

Цинк – микроэлемент интенсивного биологического накопления, который поглощается растительностью и закрепляется в органогенных горизонтах почв. Максимальное биологическое накопление свойственно фитобиоте плакорных местообитаний. В болотных ландшафтах биогенная активность цинка и меди падает, а водно-миграционная – увеличивается [151]. Исходя из закономерностей миграционной активности цинка следует ожидать увеличения концентрации Zn в воде рек, в питании которых существенную роль играют болотные воды. Это подтверждается повышенным содержанием цинка в водах рек Тромъеган и Пим, протекающих по чрезвычайно (до 80 % площади водосбора) заболоченным территориям (табл. 3.29). Наблюдается ясно выраженная корреляционная зависимость между содержанием в речных водах цинка и площадью, занятой верховыми олиготрофными ($r = 0,56$) и низинными болотами ($r = 0,69$) в пределах водосборного бассейна.

Таблица 3.29

Среднее содержание цинка, мкг/дм³, в водах Оби и притоков на территории ХМАО–Югры, 2009–2011 гг.

Водный объект	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Me</i>
р. Обь (в пределах ХМАО)	451	13,6	10,3
прот. Юганская Обь	99	8,9	4,5
р. Аган	107	10,6	8
р. Большой Балык	119	10,1	7
р. Большой Салым	68	11,7	7,4
р. Большой Юган	60	15,5	6,2
р. Ватинский Еган	115	13,6	10
р. Вах	170	17,8	12
р. Иртыш (в пределах ХМАО)	38	11,3	5
р. Конда	109	11	5
р. Лямин	30	8,8	8
р. Малый Балык	99	7,7	5
р. Малый Салым	98	15,6	10,9
р. Пим	100	21,4	15
р. Тромъеган	60	25,5	15,5

Анализ ландшафтно-геохимической структуры водосборных бассейнов дает основания для вывода о закономерном увеличении водомиграционной активности цинка на участках интенсивных техногенных нарушений, где биогенное накопление этого элемента существенно нарушено. При усилении техногенеза наблюдается рост содержания этого элемента в речных водах, что подтверждается практически линейной зависимостью между концентрацией Zn и площадью геосистем, подверженных антропогенному влиянию ($r = 0,96$).

Суммируя основные ландшафтные и геохимические закономерности формирования химического состава речных вод таежной зоны Западной Сибири, следует отметить следующее:

- питание рек в значительной степени зависит от болотных вод, для которых характерны кислая реакция среды и высокое содержание органических веществ;
- кислая реакция среды в болотных водах обуславливает высокую миграционную подвижность многих химических элементов (в частности, Fe, Zn, Mn), которая проявляется на фоне бедного состава почвообразующих пород и почв;
- сезонные изменения типа питания и значительные колебания расхода воды в реках определяют значительную вариабельность гидрохимических параметров;
- преобладание в источниках питания талых снеговых вод обуславливает низкую минерализацию рек, особенно во время половодья.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИИ ТЕХНОГЕНЕЗА В НЕФТЕ- И ГАЗОДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНАХ

4.1. Основные процессы техногенеза и их геохимические последствия

Техногенные геохимические преобразования, которые проявляются на месторождениях углеводородного сырья, в соответствии с классификацией форм техногенеза по Ферсману можно разделить на две основные категории:

- распространение химических веществ, чуждых природной обстановке (в том числе токсичных ксенобиотиков) и поставленных в новые геохимические условия;
- инженерная перегруппировка веществ на земной поверхности, связанная с механическими нарушениями (удаление почвенного и растительного покровов, изменение окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий, направления и интенсивности поверхностного стока).

Техногенное геохимическое воздействие нельзя рассматривать только как процесс поступления загрязнителей. Буровые работы и прокладка коммуникаций неизбежно сопровождаются трансформацией почв и растительности. Важными факторами, влияющими на геохимические процессы дифференциации веществ, являются механическое воздействие на почвенный покров (его удаление или уплотнение, нарушение сложившейся структуры почвенного профиля, замена коренных почв песчаными грунтами при создании отсыпки под кусты скважин) и изменение водного режима. Из-за уплотнения грунтов, изменения направления и интенсивности внутрипочвенного стока усиливается гидроморфность территории, что меняет физико-химические условия, от которых зависит миграционная активность химических элементов. Удаление поверхностных горизонтов приводит к изменению морфологии почвенного профиля, нарушению циклов миграции веществ, усилению миграции элементов, ранее участвовавших в процессах биологического круговорота и аккумулятовавшихся в органогенных горизонтах. Для трансформированных в результате техногенеза почв характерна слабая дифференциация почвенного профиля и нарушение стратификации почвенных горизонтов. Зачастую глеевые горизонты из-за механических нарушений выходят на поверхность, что ведет к переходу закисных форм ряда металлов в окисные и уменьшению их подвижности. Большинство эколого-геохимических работ направлено на изучение процессов распространения химических элементов и их соединений,

чуждых природной обстановке, в атмосфере, гидросфере, почвах, приводящих к нарушениям функционирования экосистем, т. е. на изучение процессов загрязнения. Узость подобной трактовки целей эколого-геохимических исследований, при которой мало учитываются процессы инженерной перегруппировки элементов, на наш взгляд, очевидна. Даже беглое рассмотрение форм и масштабов тех процессов, которые входят в комплекс работ по добыче углеводородного сырья, со всей очевидностью свидетельствует: инженерная перегруппировка является важнейшей составляющей техногенеза.

На этапе геолого-разведочных работ наибольшую экологическую опасность представляют сейсморазведка и бурение геологических скважин. Анализ космоснимков и фондовых материалов показал, что 2/3 территории таежной зоны Тюменской области прошло через этап региональных геолого-разведочных работ [213].

Фонд скважин только на территории ХМАО насчитывает более 80 тыс. единиц. Воздействие на окружающую среду при строительстве скважин связано с механическим разрушением почвенного покрова и уничтожением растительности на буровых площадках, карьерах минерального грунта и по трассам линейных сооружений (дорог, трубопроводов). Формально не попадая под разряд “загрязненных”, участки с механическим нарушением почвенного покрова, растительности, измененным водным режимом в геохимическом отношении значительно отличаются от геосистем спонтанного развития в силу нарушения циклов миграции веществ и ландшафтной структуры. Масштабы подобных преобразований весьма велики. По официальным данным, под объекты инфраструктуры нефтедобывающего комплекса на территории ХМАО резервируются и отводятся значительные площади, в среднем около 50 тыс. га на одно месторождение, ежегодно изымается около 0,1 % земель лесного фонда. В целом по округу под лицензионными участками добычи нефти зарезервировано более 11 млн га, что составляет более 20 % площади. Степень нарушенности экосистем находится в прямой зависимости от периода разработки и общего фонда скважин: чем дольше разрабатывается месторождение, тем больше площадь нарушенных земель [249]. На каждый гектар, отведенный под размещение скважин и кустового оборудования, приходится от 0,3 до 3,0 га нарушенных земель, при этом строительство одной скважины сопровождается деградацией и загрязнением в среднем 2000 м² поверхности почвы за пределами кустовой площадки [213]. Площадь механических нарушений растительного покрова вокруг отдельных скважин зависит от глубины бурения. Диаметр нарушений составляет в среднем 200 м – для инженерно-геологических скважин глубиной до 150 м; 500 м – для разведочных скважин глубиной до 2,5 км и 750 м – при больших глубинах скважин. То же относится и к прокладке коммуникаций. При строительстве магистрального трубопровода на каждые 100 км трассы нарушается в среднем 500 га земельных угодий, а при прокладке дорог – не менее 250 га [116]. Ширина коридоров коммуникаций для магистральных тру-

бопроводов составляет 100–150 м. Если применить к трубопроводам широко используемый в гидрографии показатель густоты речной сети, вычисляемый как соотношение длины водотоков к общей площади территории ($\text{км}/\text{км}^2$), то получим, что показатель густоты трубопроводной сети на территории ХМАО составляет $70\,000\text{ км} : 534\,800\text{ км}^2 = 0,13$. Для сравнения, густота речной сети составляет для разных ландшафтных районов округа 0,25–0,4 [161]. Одинаковый порядок цифр ярко свидетельствует о том, что техногенные процессы по своим масштабам сопоставимы с природными.

Перечень веществ, поступающих в окружающую среду при бурении, весьма разнообразен. По данным проектных документов, при бурении и испытании одной разведочной скважины за год в атмосферу выбрасывается 11,4 т диоксида азота, 9,6 оксида углерода, 3,6 диоксида серы, 4 керосина, 1,8 т оксида азота и ряд других веществ, в том числе веществ 1-го класса опасности – бенз(а)пирена, соединений свинца, формальдегида. Представленный список отражает только запланированные выбросы, но не учитывает загрязнители, поступающие при нарушении норм экологически безопасного природопользования: вследствие разливов буровых и тампонажных растворов, нефти, пластовых минерализованных вод, распространения сточных промышленных и хозяйственно-бытовых вод, несанкционированных свалок твердых отходов. К числу загрязнителей на севере Западной Сибири при обустройстве месторождений относятся нефтепродукты, тяжелые металлы, поверхностно-активные вещества, фосфаты, метанол, барит, диэтиленгликоль [81]. Основной вред экосистемам наносят сырая нефть и нефтепродукты, химические элементы и соединения, находящиеся в составе газоконденсатных растворов, пластовых вод и буровых отходов (V, Ba, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr, Zn, нафталин, бифенил и др.) [11, 164]. Большинство случаев разлива нефти связано с выбросами жидкости из скважин вследствие нарушения технологии вскрытия или испытания нефтяных пластов или аномальных пластовых условий, не ожидаемых буровиками, причем 39 % разведочных площадок загрязнены нефтедержащими продуктами непосредственно в приустьевой зоне [213]. Особенность технологических процессов на нефтяных месторождениях Западной Сибири состоит в извлечении из недр вместе с нефтью засоленных пластовых вод, которые впоследствии отделяются в процессе деэмульгации. Как правило, после разделения засоленные воды закачиваются обратно для поддержания пластового давления, но при аварийных ситуациях (прорывах водоводов, аварийном фонтанировании) поступают в почвы, вызывая коренную перестройку почвенного поглощающего комплекса, изменение кислотно-щелочных условий и трансформацию строения гумусового профиля. В результате попадания минерализованных вод при бурении ландшафты кислого глеевого класса меняются на ландшафты соленосного класса водной миграции. Развитие в почвах процессов техногенного галогенеза приводит к образованию засоленных в различной степени почв, вплоть до битуминозных

солончаков [209]. Отмечалось, что при загрязнении буровыми шламами и пластовыми водами снижается обменная и гидролитическая кислотность, а доля обменного натрия повышается до 10–25 % от полной емкости катионного обмена [205]. Масштабы загрязнения отходами бурения весьма велики. К примеру, загрязнение гидросферы ингредиентами буровых сточных вод охватывает почти всю территорию Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения за счет большого количества кустовых площадок (около 500) и равномерного их распределения по площади [21].

Крайне высок риск деградации геосистем при авариях на трубопроводах. По официальным данным, на территории ХМАО в системе нефтесбора в среднем происходит от 1500 до 6000 аварий в год, главным образом вследствие коррозии металла устаревших трубопроводов. Однако в официальных отчетах учитываются только разливы при авариях, а локальные утечки с площадок разведочного и эксплуатационного бурения, как правило, не принимаются во внимание. Вместе с тем данные многочисленных экологических исследований российских и зарубежных ученых [213, 268] убедительно свидетельствуют о том, что утечки из устья скважин стали обыденным явлением. Разливы нефти приводят к изменению структуры наземных и водных экосистем, снижению их биопродуктивности и ресурсных функций [47, 92, 213, 234].

Таким образом, добыча углеводородного сырья сопряжена с поступлением многочисленных загрязняющих веществ, изменением структурных связей в ландшафтах и активизацией внутренних и внешних миграционных потоков вещества. Исследования, выполненные как в зоне тундр (газовые месторождения Ямала, Гыдана, Тазовского п-ова), так и в таежной зоне (нефтяные месторождения Среднего Приобья), убедительно показывают, что буровые работы, обустройство месторождений, создание производственной и транспортной инфраструктуры приводят к изменению геохимических показателей различных компонентов природной среды. Загрязнение сопровождает все стадии производственного цикла: разведку запасов, обустройство, промышленную эксплуатацию. Насколько велика экологическая угроза, связанная с трансформацией геохимических показателей ландшафтных комплексов разного ранга, будет рассмотрено далее.

4.2. Формы техногенных геохимических преобразований ландшафтов на различных стадиях производственного цикла

4.2.1. Стадия геолого-разведочных работ

Разведка и обустройство месторождений, добыча и транспортировка нефти и газа – это длительный, многоступенчатый процесс, неизбежно приводящий к изменению свойств природной среды, в том числе и к трансформации геохимических характеристик. Интенсивность техногенных изменений, набор типоморфных загрязнителей зависят от используемых технологий и меняются на различных стадиях производственного цикла. Общая тенденция состоит в постепенном и неуклонном

увеличении хемогенных преобразований ландшафтов по мере освоения месторождений – интенсивность загрязнения прямо пропорциональна длительности эксплуатации [213, 249].

Различные стадии производственного цикла характеризуются специфическим комплексом воздействий. Начальный этап – геолого-разведочные работы – включает геофизические исследования и бурение разведочных скважин. Геофизические исследования, наиболее распространенным типом которых является сейсмическая разведка, сопровождаются вырубкой лесов, нарушениями почвенного покрова. Закладываются основы транспортной инфраструктуры, что также приводит к нарушениям ландшафтов и соответственно к изменению их геохимических характеристик. Линейные нарушения часто вызывают изменения поверхностного стока, что увеличивает площадь гидроморфных и полугидроморфных геосистем. Площадные нарушения связаны с разведочным бурением. Технология работ предусматривает подготовку буровой площадки. В настоящее время, как правило, создается насыпное песчаное основание с обваловкой по периметру, чтобы предотвратить растекание загрязнителей в случае незапланированного фонтанирования. Ранее насыпные основания применялись редко и буровые площадки представляли собой участки с нарушенным почвенным покровом, уничтоженной растительностью. Долговременным источником поступления химических веществ являются котлованы-отстойники и шламовые амбары, которые должны иметь гидроизоляцию, однако это требование зачастую нарушается, и они становятся источниками поступления загрязнителей в грунтовые воды. Нарушение технологии буровых работ, аномальные давления в пластах часто приводят к незапланированным выбросам из скважин нефти, пластовых вод и буровых растворов. Обычным стало загрязнение горюче-смазочными материалами, наблюдаемое на каждой второй площадке [213]. Постепенное старение запорной арматуры приводит к утечкам из устья скважин. Существенный вклад в загрязнение вносят хозяйственно-бытовые сточные воды и твердые бытовые отходы.

При бурении скважин отходами производства являются буровая сточная вода, отжатый буровой шлам, излишки тампонажного раствора, образующиеся при цементировании скважин; при испытании скважин возможны выбросы нефти, пластовых вод, специальных химических реагентов. К ним добавляются хозяйственно-бытовые сточные воды и твердые бытовые отходы.

При анализе хемогенеза, связанного с буровыми работами, в первую очередь следует остановиться на характеристике отходов бурения (шламов), объем которых от одной типовой скважины составляет 450–500 т [26], а общий объем поступления в окружающую среду только на территории ХМАО достигает 735–750 тыс. т в год. Основой буровых растворов являются глины, минералогический состав которых отличен от состава коренных почв, а это значит, что отходы бурения могут формировать техногенные потоки, приводящие к структурно-функциональной перестройке сложившихся природных химических равновесий.

Перечень компонентов для приготовления бурового раствора включает глинистый порошок, приготовленный из бентонита (глины с добавлением утяжелителя – сульфата бария). Глинистая основа используется как структурообразователь раствора и регулятор вязкости. В зависимости от условий и назначения бурения буровые растворы обрабатывают специальными добавками. В качестве регулятора щелочности применяется каустическая сода (NaOH); для обеспечения оптимальной работы буровой установки в состав буровых растворов вводят поверхностно-активные вещества (ПАВ), кармоксиметилцеллюлозу и нитролигнин для поддержания постоянной плотности, понижения водоотдачи и вязкости. В состав примесей входят эмульгаторы, смазочные добавки, ингибиторы коррозии. Жидкая фаза состоит из воды, применение нефти допускается только в аварийных ситуациях [184]. Иногда в зоне распространения многолетнемерзлых пород буровые растворы разливаются непосредственно на поверхность почвы, при этом образуется плотная корка, состоящая из бентонита, под которой оказывается погребенной растительность. Обычно буровые растворы имеют щелочную реакцию, что отличает их от кислых коренных почв.

Оценки токсичности буровых растворов, выполненные рядом исследований, довольно противоречивы: ряд работ свидетельствует о весьма негативном влиянии буровых растворов на биоту, как водную [165, 255], так и наземную [26]. Вместе с тем буровые растворы, используемые в Западной Сибири компанией «Сургутнефтегаз», согласно заключению Научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН и Научно-исследовательского института экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина признаны малотоксичными, что позволяет рекультивировать шламовые амбары травянистыми и древесными растениями. Это достигается с помощью современных четырехступенчатых систем очистки бурового раствора.

С позиции геохимии ландшафта опасность поступления и распространения отходов бурения состоит в потенциальной смене инвариантного состояния геосистем, преодолении предела устойчивости, определяемого сохранностью литогенной основы и класса водной миграции, невозможностью восстановления биоты. Н.П. Солнцева [206] выдвинуто понятие «совместимости природных и техногенных потоков» как одного из факторов стабильности геосистем. Несовместимы техногенные потоки, геохимическая характеристика которых резко отличается от свойств принимающих эти воздействия природных систем. Обязательное условие при этом – неустойчивость продуктов техногенеза в местных ландшафтах, в результате чего происходит активное отторжение загрязнителей. Совместимыми с природной обстановкой являются техногенные потоки, не имеющие резких отличий по геохимическим параметрам или другим показателям от свойств местных фоновых ландшафтов. Исходя из этого проанализируем элементный состав отходов бурения на различных месторождениях Западной Сибири в сопоставлении с рассмотренными ранее закономерностями формирования вещественного состава геосистем спонтанного развития.

Результаты обследования состава буровых растворов, выполненные на различных участках, вместе с показателями зональных почв представлены в табл. 4.1.

Сопоставление с кларками литосферы и с региональными характеристиками химического состава почв северной части Западной Сибири свидетельствует о повышенном содержании в отработанных буровых растворах цинка, свинца, никеля, в отдельных случаях – хрома, меди, бария, стронция. На других месторождениях Тюменской области был отмечен сходный набор типоморфных загрязнителей. Отмечалось, что буровые работы приводят к значительному увеличению содержания в поверхностных горизонтах почв меди, цинка, свинца [75], а твердый осадок шламовых амбаров, содержащих отходы бурения, характеризуется высоким содержанием мышьяка, меди, свинца, цинка и никеля [213]. Согласно исследованию атмосферных выпадений на нефтяных месторождениях Аляски, в группу элементов-индикаторов буровых работ входят барий, алюминий, хром, никель, ванадий и железо [281, 283].

Изменение химических характеристик геосистем может происходить как при разливах буровых растворов, так и в результате длительных процессов водной миграции из мест их складирования и захоронения (эпигенетическая стадия загрязнения, по определению Н.П. Солнцевой). Шламовые амбары и котлованы-отстойники являются источниками поступления хлоридов и нефтяных углеводородов. Очень часто, в случае плохой гидроизоляции котлованов, отходы бурения, нефть по-

Таблица 4.1

**Элементный состав отработанных буровых растворов,
мг/кг, Fe – %**

Участок	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Co	Pb	Cr	Ba	Sr
Бованенковское ГКМ, п-ов Ямал ($n = 26$)	–	525	30	107	52	14	15	68	>10000	1000
Находкинское ГКМ, Тазовский п-ов ($n = 9$)	4,1	500	39	93	43	13	12	490	–	–
Среднее содержание в почвах тундр Западной Сибири	1,9	370	13	25	26	7,7	6,1	31	578	32
Нумтойский поисковый участок, Сибирские Увалы ($n = 12$)	2,9	820	142	111	34,6	16,8	15,6	89,0	–	–
Среднее содержание в подзолах Тюменской области (минеральные горизонты)	–	787	18	39	19,2	6,2	11,1	141	227	103
Кларк литосферы	4,65	1000	47	85	58	18	16	83	650	340
ПДК (ОДК)	–	1500	55	100	80	–	32	–	–	–

Примечание. Прочерк – элемент не определялся.

ступают в глубь грунтовой толщи, попадают как загрязнители в водоемы. Влияние амбаров-накопителей, содержащих отходы бурения, на прилегающие ландшафтные комплексы в результате процессов миграции с грунтовыми водами было предметом многочисленных исследований, из которых выделим работы С.А. Дорожуковой [75] и А.В. Соромотина [213]. Эти исследования показали, что в процессе эксплуатации амбары заполняются буровыми и тампонажными растворами, нефтью, шламом, пластовыми водами, продуктами испытания скважин, хозяйственно-бытовыми сточными водами и твердыми бытовыми отходами, ливневыми сточными водами. Процентное соотношение этих компонентов может быть самое разнообразное в зависимости от геологических условий, технического состояния оборудования, культуры производства и т. д. При бурении стандартной скважины глубиной 2600 м в амбаре содержится около 65 % воды, 30 шлама (выбуренной породы), 5,5 нефти, 0,5 бентонита и 0,5 % различных присадок, обеспечивающих оптимальную работу буровой установки, в том числе барит (0,02 %), поверхностно-активные вещества, сода кальцинированная и каустическая [252]. По расчетам А.В. Соромотина [213], в среднем каждый амбар содержит до 5000 м³ бурового шлама и около 3000 м³ воды, загрязненной растворимыми химреагентами и нефтью. Отмечалось, что в первые годы существования амбара в непосредственной близости от него формируется солевой ореол с повышенной минерализацией [75]. Общий уровень минерализации грунтовых вод на пробных площадках, расположенных ниже шламовых амбаров, на порядок превышает значения для фоновых проб, а загрязнение ионами аммония усиливается в 4–20 раз [102]. Амбары являются участками аномально высокого содержания Zn, V, Ca, Ni, Ba, иногда Pb, Cu [102]. Радиус воздействия загрязненных вод из шламовых амбаров при отсутствии аварийных ситуаций ограничивается десятками метров [19].

Исходя из описанных особенностей источников загрязнения рассмотрим процессы техногенно-геохимических преобразований на топологическом уровне – уровне элементарных геосистем, которые являются основными ячейками материально-энергетического обмена и от которых зависят особенности биологического круговорота и локального водного баланса [215]. Процессы хемогенеза, связанные с проведением геолого-разведочных работ, описаны на примере ряда месторождений, расположенных в различных ландшафтных условиях: тундр п-ова Ямал, северной и средней тайги. Обследованные месторождения (Харасавэйское, Бованенковское, Новопортовское, Тамбейское, Ватлорское) различаются по интенсивности техногенеза, применяемым технологиям и охватывают различные периоды геолого-разведочных работ и обустройства. При изучении техногенеза были вычислены коэффициенты концентрации K_c для проб почв, отобранных в непосредственной близости от скважины (зона прямого влияния), на некотором расстоянии от нее, в пределах первых сотен метров (зона опосредованного влияния), а также на селитебных участках (территории вахтовых поселков), где потен-

циальное загрязнение может быть связано с влиянием объектов газового хозяйства и бытовой деятельностью населения.

На участках разведочного бурения п-ова Ямал геохимическое опробование было проведено на участках трех типов: фоновых, отражающих структуру почвенного покрова коренных геосистем; переходных, расположенных на границе нарушенного участка; техногенных (непосредственно территория буровой площадки). Как правило, на площадках разведочного бурения почвенный и растительный покровы нарушены, иногда наблюдаются разливы буровых растворов, нефтепродуктов. Радиус механических нарушений составляет 100–200 м.

На месторождениях п-ова Ямал был отмечен ряд скважин, пробуренных в 1980-х гг., где в пределах площадок происходили разливы буровых растворов. Наибольшее число таких площадок было зафиксировано в пределах Бованенковского и Харасавэйского месторождений. Это привело к образованию техногенных геохимических аномалий, характеризующихся резким увеличением концентрации ряда микроэлементов – свинца, бария, стронция, цинка. Аномалии свинца, бария и стронция имеют вид ореола рассеяния с центром у устья скважины. Радиус загрязнения составляет 100–200 м. Глубина проникновения загрязнителей в почву ограничивается мерзлотным водоупором. Более сложный вид имеет аномалия цинка. На участках, где торфяной горизонт удален, содержание цинка, как правило, ниже, чем на участках с сохранившимся торфяным горизонтом. Однако при разливах бурового раствора содержание Zn повышается. Распределение элементов в вертикальном профиле почв, загрязненных буровыми растворами, контрастное. В поверхностных горизонтах нарушенных почв валовое содержание бария, свинца и стронция примерно на порядок выше, чем в нижних, слабонарушенных, горизонтах (табл. 4.2). Техногенные факторы вызывают возрастание концентрации железа. На техногенных участках увеличивается число проб с концентрациями выше кларковых величин, максимальное значение достигает 11 %. Одной из причин повышения концентрации Fe – поступление этого элемента при коррозии остатков металлического оборудования и материалов, однако более сильным фактором является изменение кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условий на буровых площадках, в результате

Таблица 4.2

Содержание химических элементов, мг/кг, в почвогрунтах буровых площадок со следами разлива буровых растворов (Бованенковское месторождение, п-ов Ямал)

Глубина, см	Mn	V	Cr	Ba	Sr	Ni	Co	Cu	Zn	Pb	P
0–5	300	40	50	>10 000	2000	50	10	40	150	150	600
5–15	1000	80	80	>10 000	1500	50	15	30	120	80	3000
15–30	400	100	80	8000	300	50	15	20	80	15	800
30–45	400	100	60	1000	200	60	15	30	80	12	1200

чего процессы внутрипочвенного выноса закисного железа в кислой глеевой обстановке сменяются осаждением этого элемента в щелочной окислительной.

В почвогрунтах площадок разведочного бурения Бованенковского месторождения помимо аномалий микроэлементного состава наблюдаются разливы нефтепродуктов. По результатам обследования 100 площадок Бованенковского месторождения только 33 из них характеризуются как относительно незагрязненные (содержание нефтепродуктов в грунтах не превышает 1000 мг/кг), в то время как на ненарушенных территориях случаи загрязнения единичны. Общий уровень загрязнения на Бованенковском месторождении определяется высокими концентрациями бария и стронция, повышенным содержанием свинца и нефтяных углеводородов (НУВ) (рис. 4.1).

На участках разведочного бурения Тамбейского месторождения наблюдается сходная ассоциация элементов-загрязнителей. Максимальные значения коэффициентов концентрации K_c выявлены для элементов халькофильной группы – свинца и цинка, содержание которых превышает фоновый уровень в 3,1–3,6 раза. Содержание стронция в почвах возрастает приблизительно в 2 раза по сравнению с фоновыми участками, а содержание бария – в 1,4 раза. Концентрация бария и стронция в почвах Тамбейского месторождения относительно невелика, что свидетельствует об отсутствии масштабного загрязнения буровыми растворами. Вблизи устья скважин концентрация свинца в среднем в 2,4 раза выше, чем на расстоянии нескольких сотен метров от них, и в 3,1 раза выше, чем на фоновых территориях. В почвах буровых площадок концентрация свинца связана сильной корреляционной зависимостью с содержанием элементов, входящих в состав компонентов буровых растворов, – бария ($r = 0,69$) и стронция ($r = 0,83$). Таким образом, свинец входит в парагенетическую ассоциацию элементов – индикаторов техногенного загрязнения, обусловленного буровыми работами. Вместе

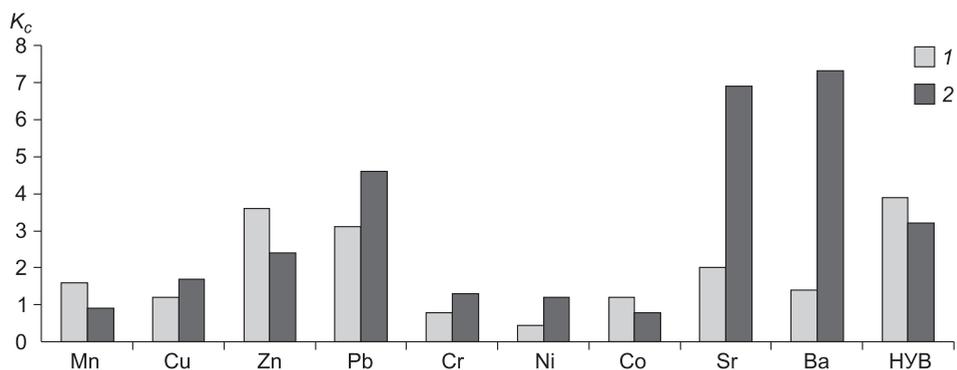


Рис. 4.1. Значение коэффициента концентрации K_c для почвогрунтов площадок разведочного бурения месторождений п-ова Ямал:

месторождения: 1 – Тамбейское, 2 – Бованенковское

Таблица 4.3

**Статистические показатели содержания микроэлементов, мг/кг,
в поверхностном горизонте почв на участках буровых работ
п-ова Ямал (n = 230)**

Элемент	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>V</i> , %	<i>K_c</i>
Mn	1830	1013	55,4	0,89
V	112	46	41,1	1,33
Ti	7739	2416	31,2	1,33
Cr	173	70	40,5	1,32
Zr	313	101	32,3	1,07
La	83	35	42,2	1,35
Y	24	8,1	33,8	1,42
Yb	2,9	1,3	44,8	1,45
Sc	28	11	39,3	1,74
Ba	10 000	4375	43,8	7,35
Sr	1130	825	73,0	6,89
Li	20	11	55,0	1,76
Ni	66	24	36,4	1,20
Co	21	12	57,1	0,83
Mo	0,8	0,2	25,0	1,30
Cu	62	18	29,0	1,72
Zn	162	146	90,1	2,38
Pb	89	95	106,7	4,64
Sn	1,9	1,3	68,4	1,72
Ga	23	8,3	36,1	1,62

с тем содержание ряда сидерофильных элементов, в частности никеля и хрома, на участках техногенеза ниже, чем в фоновых условиях.

Обобщенные показатели микроэлементного состава поверхностного горизонта почв для участков бурения на п-ове Ямал приведены в табл. 4.3.

Приведенные данные свидетельствуют, что максимальное превышение над фоновыми показателями имеют барий, стронций, цинк и свинец. Наиболее опасным загрязнителем следует признать свинец, поскольку барий и стронций, хотя и имеют большие коэффициенты концентрации, геохимически весьма инертны, и, по мнению Н.П. Солнцевой [206], их нельзя признать несовместимыми с природной ландшафтно-геохимической обстановкой.

При механических нарушениях формируются отрицательные геохимические аномалии. Участки с удаленным органогенным горизонтом почв, образование которых связано с внедорожным движением транспорта, строительной техники, расчисткой под основания инженерных сооружений и временных поселков, характеризуются снижением содержания марганца, цинка, фосфора, меди (табл. 4.4).

Таблица 4.4

**Содержание микроэлементов, мг/кг,
в почвах с нарушенным поверхностным горизонтом
(Бованенковское и Харасавэйское месторождения, п-ов Ямал)**

Элемент	Фоновая почва		Нарушенная почва		K_c
	M	SD	M	SD	
Mn	2050	1530	1070	330	0,52
V	84	36	116	26	1,38
Ti	5800	2140	5130	1350	0,88
Cr	131	32	109	183	0,89
Zr	280	111	288	96	1,03
La	62	36	33	33	0,53
Be	1,9	1,5	0,8	0,3	0,48
Y	17	9	19	5	1,1
Yb	1,9	0,9	1,5	0,4	0,79
Sc	16	8	9	3	0,59
Ba	1360	840	1710	1010	1,26
Sr	164	97	145	54	0,88
Nb	16	7	10	2,5	0,66
Ni	55	19	55	9	1,0
Co	26	15	9	6	0,35
Mo	0,6	0,3	0,5	0,3	0,83
Cu	36	19	62	26	1,72
Zn	68	59	61	45	0,89
Pb	19	8	27	8	1,43
Sn	1,0	0,6	0,8	0,6	0,80
Ag	0,07	0,05	0,09	0,09	1,28
Ga	14	4	18	7	1,29
n		52		37	–

Трансформация микроэлементного состава почв происходит на фоне изменения физико-химических условий. Механические нарушения приводят к существенному изменению кислотно-щелочных характеристик. Если в фоновых условиях и на границе нарушенных участков почвенные растворы имеют сильноокислую и кислую реакции, то участки техногенеза характеризуются широким спектром значений показателя потенциальной кислотности ($pH_{\text{сoл}}$) без выраженного доминирования какой-либо градации. Так, на участках размещения скважин Бованенковского месторождения отмечены щелочные условия, редко встречающиеся в фоновых условиях (рис. 4.2). Возрастание pH связано с удалением органогенного горизонта почв, поступлением щелочных буровых растворов. Щелочные условия формируются на фоне возрастания удельной электропроводности (коэффициент корреляции $r = 0,62$). Таким образом, в пробах с сильнощелочной реакцией увеличено содер-

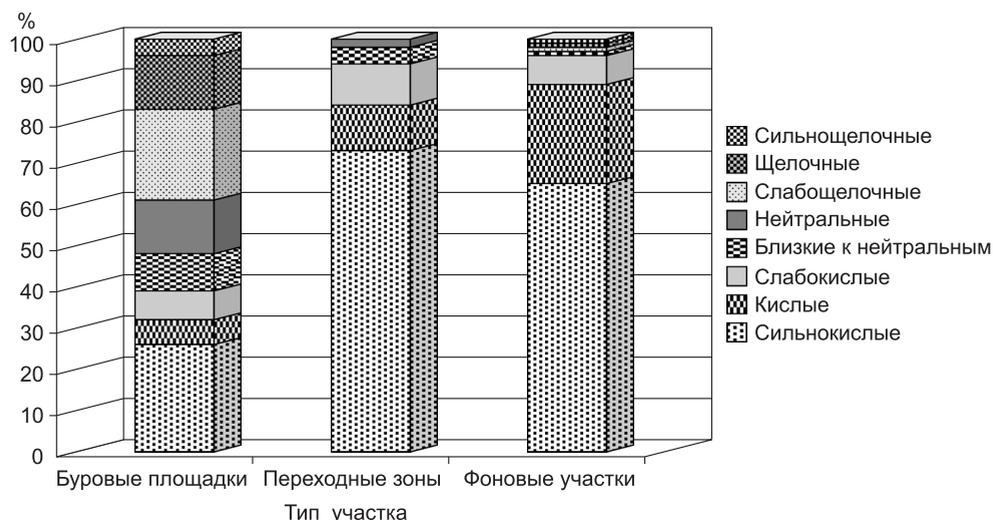


Рис. 4.2. Распределение почв и грунтов по величине потенциальной кислотности ($pH_{\text{пот}}$) на участках с различной интенсивностью техногенного воздействия (Бованенковское месторождение)

жание водорастворимых солей, что свидетельствует о совместном загрязнении буровыми растворами, пластовыми водами и реагентами промывки скважин.

На площадках разведочного бурения происходит изменение агрохимических показателей почв. Резко падает содержание органического вещества и содержание калия. Несколько повышаются содержания подвижного фосфора (табл. 4.5). Очевидно, это связано с уничтожением торфяного горизонта, имеющего невысокие запасы элементов питания растений, и заменой его минеральными суглинистыми горизонтами. Подобное явление было отмечено В.Д. Васильевской и В.В. Кири-

Таблица 4.5

Агрохимические показатели ненарушенных тундровых торфяно-глеевых почв и почв участков бурения (п-ов Ямал)

Показатель	Участки бурения		Фоновые участки	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Органическое в-во, %	8,5	5,65	16,7	11,8
$pH_{\text{водн}}$	6,8	1,3	5,20	0,59
P_2O_5 , мг/100 г почвы	2,12	2,03	1,09	0,88
K_2O , мг/100 г почвы	31,1	27,2	34,7	31,6
Нитраты, мг/кг	21,5	17,8	5,8	3,0
Гидролитическая кислотность, мг-экв./100 г	2,9	4,3	9,8	6,2
<i>n</i>	16		11	

лишиним [33] на юге Ямала при строительстве линейных сооружений (трубопроводов, дорог). При удалении торфа на поверхность здесь выходят габбро-диоритовые отложения Полярного Урала, богатые фосфором.

На участках техногенеза повышается содержание водорастворимых солей, о чем свидетельствует возрастание электропроводности.

Трансформация условий миграции веществ, вызванная механическими нарушениями, приводит к ослаблению биологического круговорота на участках техногенеза, вследствие этого возрастает миграционная активность некоторых микроэлементов, что находит отражение в повышении концентраций в донных отложениях. Исключение составляют никель и хром – элементы с низкими коэффициентами водной миграции (рис. 4.3).

Особенно заметно увеличение содержания в донных осадках элементов, отличающихся интенсивным биологическим накоплением, – Zn, Cu, Mn. Также увеличивается концентрация железа. Вероятная причина возрастания миграционной активности железа заключается в усилении оглеения, сопровождающем увеличение гидроморфности почв. Весьма часто строительство линейных и площадных объектов приводит к нарушению поверхностного стока и подтоплению, что изменяет окислительно-восстановительный режим. Соответственно увеличивается вынос железа при оглеении, а вместе с ним усиливается миграция и других металлов, чему способствует слабая выраженность геохимических барьеров.

Изучение состава донных отложений дает основания для вывода о формировании техногенных потоков нефтепродуктов и водорастворимых солей с накоплением в конечном звене миграционного ряда. Уровень концентрации нефтепродуктов в донных отложениях рек и озер в пределах месторождений повышен по сравнению с фоновыми территориями (рис. 4.4). Также увеличено содержание водорастворимых солей, о чем свидетельствует возрастание удельной электропроводности.

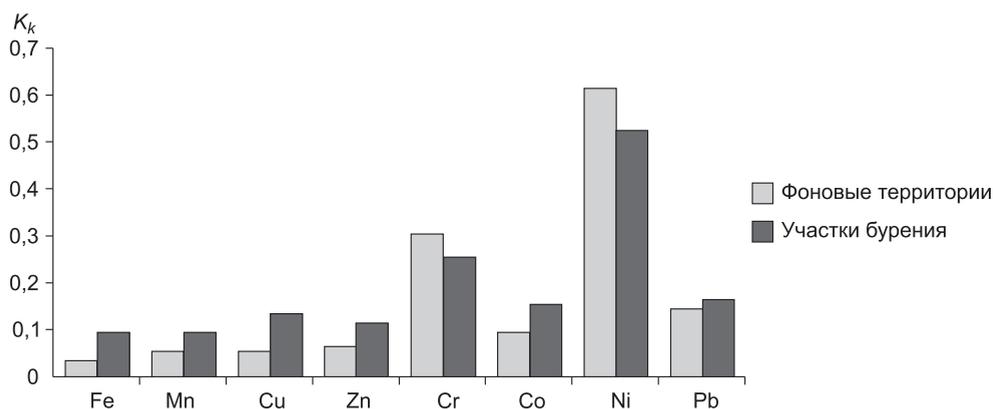


Рис. 4.3. Кларки концентраций химических элементов в донных отложениях Тамбейского месторождения ($n = 40$)

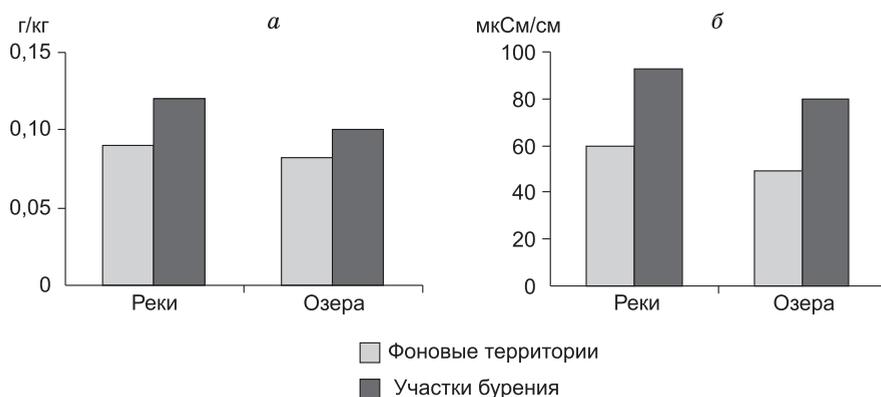


Рис. 4.4. Содержание нефтепродуктов в донных отложениях (а) и их удельная электропроводность (б), Тамбейское месторождение, п-ов Ямал ($n = 40$)

Подсчитанные значения суммарного показателя Z_c свидетельствуют, что уровень загрязнения на участках бурения варьирует от практического отсутствия до очень высокого ($Z_c > 128$). Более трети площадок незагрязнены, загрязнение той или иной степени зафиксировано на 64 % обследованных буровых (рис. 4.5). Главным загрязнителем являются нефтепродукты. Радиус геохимических аномалий зависит от числа скважин в кусте и составляет 200–250 м.

В подзоне северной тайги изучение влияния геолого-разведочных работ на геохимические характеристики ландшафтов нами было проведено на площадках разведочного бурения Нумтойского поискового участка (подзона средней тайги, район Сибирских Увалов). Исследование процессов миграции веществ (латеральной и радиальной), приводящих к загрязнению геохимически соподчиненных геосистем и формированию площадных ореолов загрязнения, базировалось на обследовании

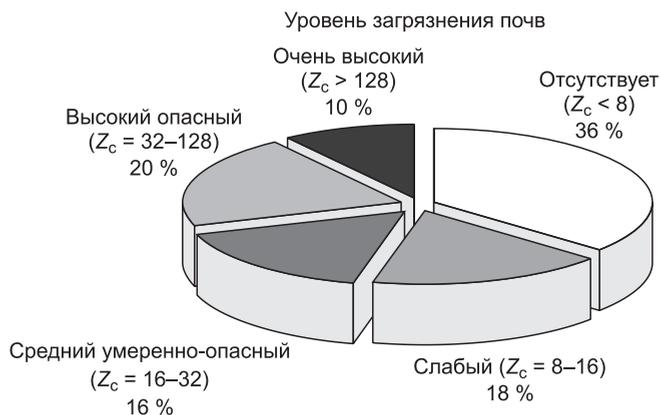


Рис. 4.5. Уровень суммарного загрязнения буровых площадок Бованенковского месторождения ($n = 100$)

состава грунтов буровых площадок, различающихся по срокам проведения работ, интенсивности нарушений, применяемой технологии. Периодический отбор проб позволил приблизительно оценить тенденции изменения химического состава нарушенных участков после прекращения воздействия.

Геологическое изучение этой территории ведется более 30 лет. На начальном этапе (1970–1980-е гг.) проведено бурение единичных разведочных скважин, позволивших установить нефтеносность. Бурение шло без создания насыпного песчаного основания, и природоохранные технологии не соблюдались, повсеместно обнаруживается загрязнение буровыми растворами и нефтепродуктами, захламенение территории остатками металлоконструкций и древесины. Радиус полного уничтожения исходных экосистем составляет 100–150 м. В настоящее время наблюдается активное восстановление растительного покрова, за исключением участков вблизи устья скважин и котлованов-отстойников.

Интенсивные комплексные геолого-разведочные работы начались в конце 1990-х гг. В настоящее время постоянно проводятся разведочное бурение и сейсморазведка, создается транспортная инфраструктура. Площадки текущего разведочного бурения представляют собой выровненные участки (примерно 200 × 200 м) с насыпным песчаным основанием и обваловкой по периферии. Поверхностный органогенный горизонт почв повсеместно удален. Изредка наблюдается битуминозная корка, образовавшаяся вследствие разлива нефти, горюче-смазочных материалов, выходящая на поверхность или засыпанная тонким слоем песка. В почвах обнаруживается цементная крошка или остатки буровых растворов. Нефтяное загрязнение визуально прослеживается на небольших по площади участках (менее 1 м²). Восстановление растительности находится на начальном этапе, растительный покров представлен несомкнутыми группировками иван-чая и крестовника, подроста березы, местами встречаются пионерные группировки мхов. В осушенных котлованах-отстойниках иногда наблюдается восстановление пушицы и ситника. Для ускорения восстановления растительности площадки засыпаны слоем торфяной крошки.

Для оценки потоков веществ загрязнителей были отобраны пробы на профилях – трансектах, проходящих через буровые площадки. Также проанализирован состав донных отложений и вод близлежащих озер, расположенных по уклону рельефа и являющихся конечным звеном миграционного ряда. Распределение загрязнителей по территории площадок разведочного бурения имеет сложный характер и зависит от расположения источников загрязнения (амбаров-накопителей, участков разливов буровых растворов и свалок оборудования и материалов). Общая тенденция состоит в снижении концентрации от центральной части, где сосредоточены основные источники загрязнения, к периферии. Согласно данным опробования, почвы буровых площадок обогащены по сравнению с преобладающими в геосистемах спонтанного развития подзолами и болотными верховыми почвами практически всеми мик-

роэлементами. Причина этого – загрязнение глинистыми буровыми растворами. В грунтах буровых площадок по сравнению с подзолами и торфами многократно увеличено содержание кобальта, меди, железа, цинка и, особенно, никеля, концентрации которого зачастую превышают величину ПДК для песчаных грунтов. Вероятный источник возрастания концентрации никеля – помимо буровых растворов еще и разливы сырой нефти и горюче-смазочных материалов, поскольку сырая нефть содержит повышенное количество этого микроэлемента.

Распределение загрязнителей по территории площадки неравномерное, геохимическая аномалия весьма контрастна. Если в приустьевой части площадок, на участках с разливами буровых растворов, выявлены повышенные концентрации свинца, хрома, кобальта, никеля и цинка, иногда с превышением экологических нормативов, то в краевой зоне, где разливы буровых растворов не прослеживаются, а в качестве субстрата выступают нарушенные песчаные подзолы либо песчаные насыпные основания, формируются отрицательные аномалии с резко выраженным недостатком большинства жизненно важных микроэлементов. В качестве примера приведем описание разреза, заложенного в краевой зоне площадки разведочного бурения. Морфология почвенного профиля в краевой части буровой площадки характерна для типичных подзолов. Подзолистый горизонт светло-серого, почти белесого цвета, мощностью 5 см, залегает с поверхности, слой подстилки отсутствует вследствие механических нарушений. Ниже подзолистого горизонта залегает мощный иллювиально-железистый горизонт охристого цвета в верхней части и постепенно осветляющийся в нижней части профиля.

Данные химических анализов свидетельствуют, что в профиле почв наблюдается закономерное перемещение веществ из поверхностных горизонтов в нижние, свойственное Al-Fe-гумусовому процессу. Особенности распределения элементов в вертикальном профиле почв сходны с распределением в иллювиально-железистых подзолах, за исключением аккумуляции в поверхностном опадо-подстилочном горизонте элементов биологического накопления. По сравнению с профилем ненарушенных подзолов отсутствует биогенное накопление марганца, цинка, свинца. На глубине 55 см отмечены максимальные концентрации практически всех микроэлементов, что связано с накоплением на сорбционном барьере, обусловленном утяжелением механического состава. Таким образом, песчаный состав почв не препятствует вертикальной миграции загрязнителей. Это подтверждает тот факт, что в автономных ландшафтах тайги на песчаных подзолах не существуют физико-химические барьеры для большинства подвижных элементов [167]. Радиальная и латеральная миграция является причиной интенсивного поступления загрязнителей в соподчиненные элементы сопряженного миграционного ряда.

Обобщенные данные, характеризующие изменение микроэлементного состава почвогрунтов буровых площадок по сравнению с коренными почвами геосистем спонтанного развития (иллювиально-железистые подзолы, болотные верховые), представлены на рис. 4.6.

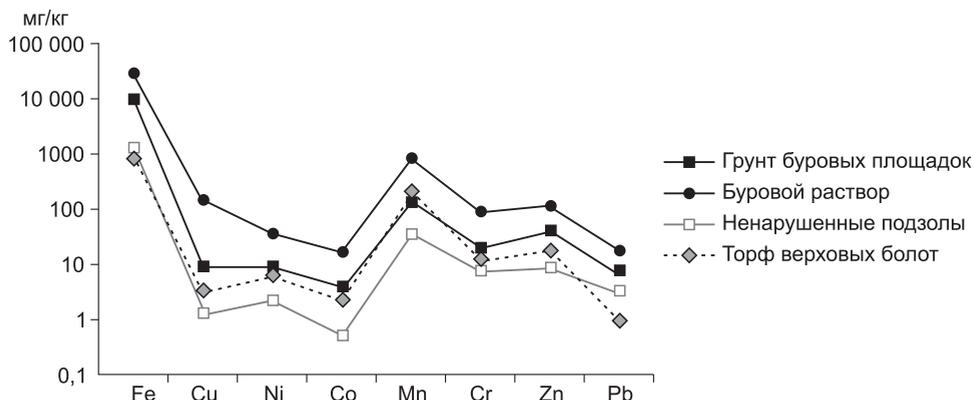
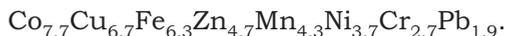


Рис. 4.6. Содержание химических элементов в почвах Нумтойского поискового участка нефтедобычи

Геохимическая ассоциация элементов-загрязнителей, вычисленная по соотношению содержания элементов в грунтах буровых площадок, по отношению к содержанию в подзолах выглядит следующим образом:



Содержание остаточных нефтяных углеводородов варьирует от нескольких десятков до десятков тысяч миллиграммов на килограмм. Скорость деградации НУВ весьма мала: так, по истечении 25 лет после окончания буровых работ на одной из обследованных площадок наблюдались концентрации от 33 г/кг вблизи устья скважины до 5,7 г/кг в краевой части, что превышает установленный в регионе допустимый уровень 3 г/кг¹. Применение буровых растворов вызвало подщелачивание поверхностного горизонта, многократно повышен уровень фосфатов (табл. 4.6).

Значение суммарного показателя загрязнения $Z_c = 30$, что соответствует среднему, умеренно опасному уровню загрязнения.

Слабая выраженность геохимических барьеров как в вертикальной, так и горизонтальной структуре ландшафтов обуславливает тот факт, что изменение микроэлементного состава почв вызывает изменение состава поверхностных вод. Проведенные мониторинговые исследования свидетельствуют, что повышенной концентрацией цинка и свинца отличаются воды озер, расположенных в непосредственной близости от недавно пробуренных скважин. В частности, концентрация Pb здесь составляет 7,6 мкг/дм³, в то время как в других обследованных водных источниках этот показатель изменяется в пределах 0,5–3,8 мкг/дм³. Со-

¹ Приложение к постановлению Правительства Ханты-Мансийского автономного округа-Югры от 10.12.2004 № 466-п «Допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ на территории Ханты-Мансийского автономного округа-Югры».

Таблица 4.6

Показатели химического состава, мг/кг, почв на участках техногенного воздействия (Нумтойский поисковый участок)

Показатель	Подзолы на фоновых участках, $n = 35$	Площадки буровых скважин			
		Центральная часть, $n = 20$		Крайевая часть, $n = 20$	
	M	M	K_c	M	K_c
Fe	1635	5914	3,6	3100	1,9
Cu	4,6	6,4	1,4	1,4	0,3
Ni	2,3	6,1	2,7	1,4	0,6
Co	1,0	3,0	3,0	0,5	0,5
Mn	50,6	90,3	1,8	33,0	0,7
Cr	7,5	13,8	1,8	9,6	1,3
Zn	4,7	16,1	3,4	5,6	1,2
Pb	2,9	5,1	1,8	1,0	0,3
Нитраты	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0
Фосфаты	0,25	177	7,1	10,0	0,4
Нефтепродукты, г/кг	0,25	33,0	132,0	5,5	22,0
$pH_{\text{водн}}$	5,6	6,3	1,1	5,5	1,0

держание цинка изменяется от $<0,01$ до $0,095$ мг/дм³, достигая максимальных значений в озерах на участках бурения. Причина увеличения концентрации этих элементов на участках техногенеза – в возрастании миграционной активности при нарушениях, сопровождающих уничтожение почвенно-растительного покрова.

Весьма отчетливо проявляются миграционные потоки таких компонентов химического состава, как водорастворимые соли. Как показали исследования, содержание хлоридов в грунтах буровых площадок отличается большой вариабельностью и зависит от количества и интенсивности загрязнения, механического состава грунтов, расстояния от устья скважины, положения буровой площадки в рельефе. Характерно, что в краевых частях площадок, находящихся вне зоны непосредственных разливов буровых растворов, отмечено довольно высокое содержание хлоридов (рис. 4.7), что совпадает с описанной Н.П. Солнцевой [207] “отгонкой” солей к краевой части ореола загрязнения на эпигенетической стадии латеральной дифференциации структуры геохимических полей.

В водах ряда озер, расположенных в непосредственной близости от площадок разведочного бурения, было отмечено формирование вод хлоридного класса, кальциевой группы при общей низкой минерализации. Последующие исследования зафиксировали возврат к типичным соотношениям главных ионов с преобладанием гидрокарбонатов среди анионов (табл. 4.7).

Нужно отметить, что увеличение содержания хлоридов выявлено только в прилегающих к буровым площадкам озерах. Воды рек характерно

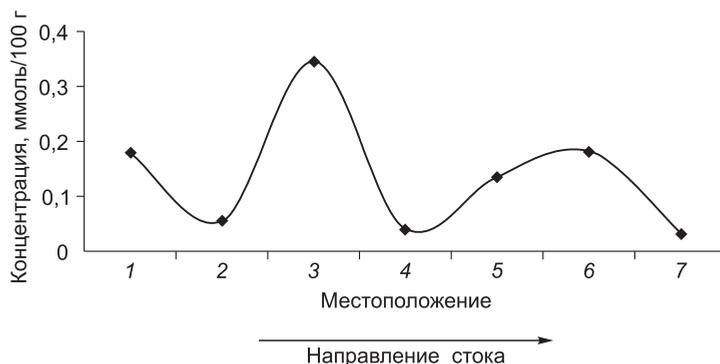


Рис. 4.7. Содержание хлоридов в грунтах буровой площадки (Нумтойский поисковый участок):

1 – устье скважины; 2 – вблизи амбара-накопителя сточных вод; 3 – площадка складирования компонентов буровых растворов; 4 – песчаный грунт в центральной части площадки; 5 – грунт со следами бурового раствора; 6 – песчаный грунт в краевой части площадки; 7 – донные отложения озера в 200 м от буровой площадки ниже по уклону рельефа

ризируются низким содержанием ионов Cl^- , не превышающим 5 мг/дм^3 (15–26 экв.%). В озерах зафиксировано увеличение концентрации нефтепродуктов относительно фонового уровня в 2–5 раз. Учитывая факт нефтяного загрязнения грунтов буровых площадок, повышенный уровень содержания нефтепродуктов можно связать с миграцией с грунтовыми водами.

Помимо водной миграции, распространение загрязнителей происходит воздушным путем. Известно, что загрязнение атмосферного воздуха на территориях нефтедобычи в результате сжигания попутного

Таблица 4.7

**Показатели состава, мг/дм^3 ,
озерных вод на участке разведочного бурения**

Показатель	2002 г. (3-й год после окончания бурения)	2006 г. (7-й год после окончания бурения)
pH	6,2	6,3
Гидрохимическая формула по Курлову	$M_{0,050} \frac{Cl\ 63\ HCO_3\ 33}{Ca\ 48\ Na\ 30\ Mg\ 22}$	$M_{0,045} \frac{HCO_3\ 52\ Cl\ 33\ SO_4\ 15}{Ca\ 50\ Na\ 27\ Mg\ 21}$
Нитриты	<0,02	<0,02
Аммоний солевой	0,05	<0,05
Нефтепродукты	0,12	0,02
АПAB	0,12	<0,02
Fe	1,7	1,5
Cu	0,065	0,064
Zn	<0,01	<0,01
Pb	0,001	0,001

газа на факельных установках является одним из наиболее существенных факторов воздействия на таежные комплексы Западной Сибири [8, 213, 227]. Радиус хемогенного воздействия отдельно стоящей буровой определен не менее чем в 2 км, при этом воздействие проявляется в аэрозольном поступлении ряда тяжелых металлов – свинца, кадмия, цинка, а также соединений азота [41–43]. Закономерности распространения атмосферных эмиссий загрязняющих веществ при проведении буровых работ были исследованы с применением растений-биомониторов, для чего отбирались пробы почвенных и эпифитных лишайников на трансектах, пролегающих через потенциальный источник загрязнения (буровая установка, вахтовый поселок). На Нумтойском поисковом участке в момент исследований буровые скважины были

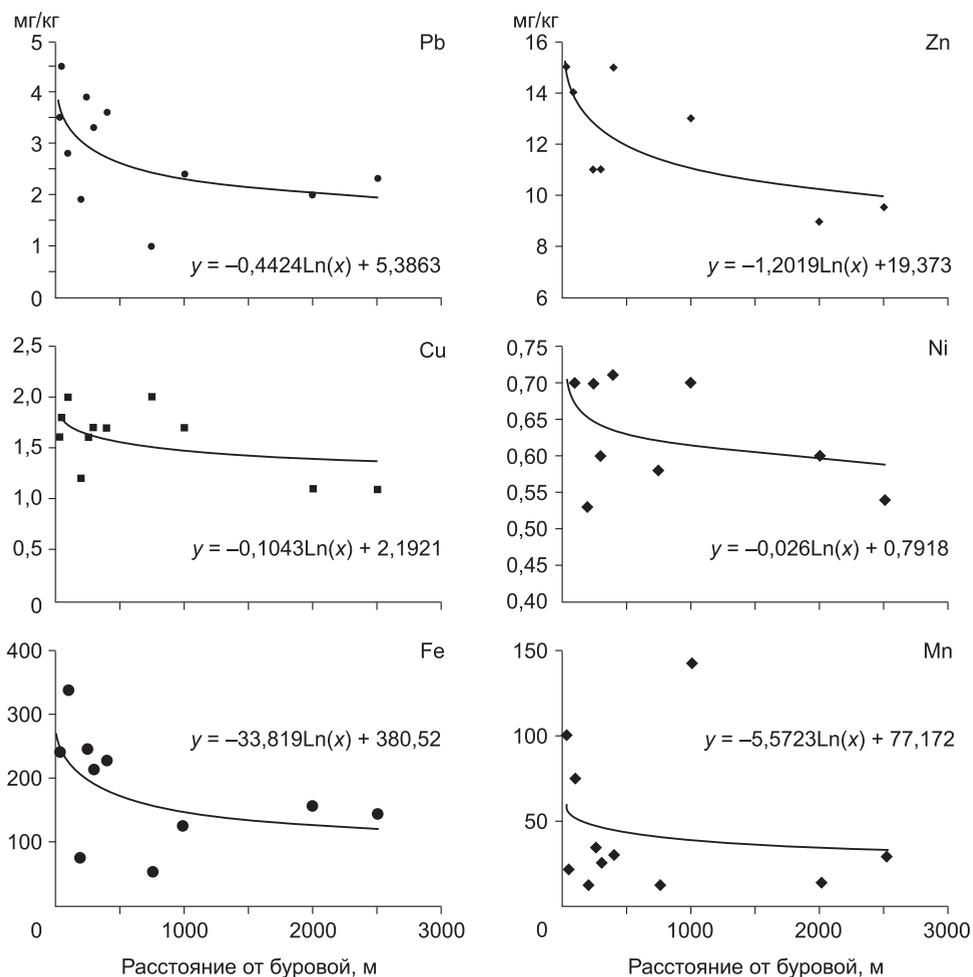


Рис. 4.8. Концентрации микроэлементов в лишайниках *Cladina stellaris*, мг/кг абсолютно сухого веса, на различном расстоянии от буровой (природный парк “Нумто”, ХМАО)

единичны и находились на значительном расстоянии друг от друга. Также далеки они были и от населенных пунктов. Таким образом, мы имели дело с точечным, локальным источником загрязнения, при практическом отсутствии других локальных источников. Анализ изменений в химическом составе образцов лишайника *Cladina stellaris*, отобранных на разных расстояниях от буровой, свидетельствует о существовании градиента в выпадении металлов (рис. 4.8). Содержание микроэлементов преимущественно техногенного генезиса (Pb, Zn, Cu) повышено непосредственно возле буровой площадки. Возврат к фоновому уровню наблюдается на удалении 500–1500 м.

В среднем содержание этих элементов в районах бурения превышает фоновый уровень в 1,4–1,5 раза (рис. 4.9). Железо имеет сходное пространственное распределение, однако градиент убывания концентрации выражен значительно слабее. У никеля, который служит индикатором сжигания нефти и мазута, обнаружен слабо выраженный градиент с незначительным повышением концентрации возле устья скважины, а у марганца четко выраженного градиента нет, что свидетельствует о практическом отсутствии загрязнения этим элементом.

Вблизи поселков химический состав лишайников незначительно отличается от состава лишайников на фоновых территориях (см. рис. 4.9). Как и на участках буровых работ, произрастающие вокруг поселков лишайники *Cladina stellaris* имеют незначительно повышенные концентрации свинца, меди, хрома – элементов, которые поступают в окружающую среду вследствие сжигания бытовых отходов [275].

Проведенная оценка достоверности различий между средними значениями с использованием *t*-критерия свидетельствует, что достоверна разница между участками бурения и фоновыми районами по среднему содержанию свинца, хрома и цинка. Также достоверны различия по цинку между участками бурения и селитебными зонами. Таким обра-

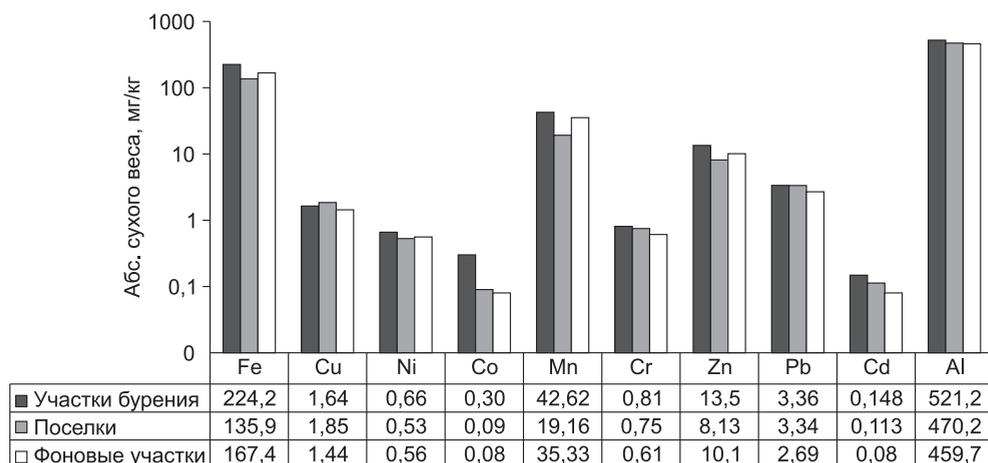


Рис. 4.9. Среднее содержание металлов в лишайнике *Cladina stellaris* в районах ведения буровых работ

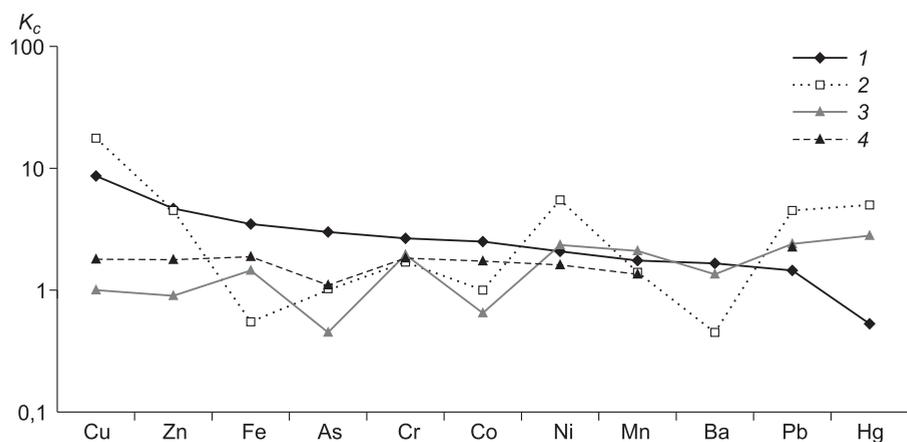


Рис. 4.10. Содержание микроэлементов в почвах буровых площадок месторождений таежной зоны [144]:

месторождения: 1 – Хохловское, 2 – Ендырское, 3 – Полуныяхское, 4 – Тальниковое

зом, буровые работы являются относительно слабым источником загрязнения атмосферы тяжелыми металлами.

Результаты исследований химического состава почв буровых площадок других месторождений, расположенных в таежной зоне, свидетельствуют, что при бурении происходит загрязнение широким спектром элементов, весьма сильно зависящим от технологий производства и соблюдения норм природопользования. Как правило, на территории буровых площадок отмечаются повышенные относительно фона концентрации меди, хрома, свинца, цинка, никеля (рис. 4.10).

Таким образом, геохимическая трансформация на участках разведочного бурения представляет собой комплекс процессов, связанных с поступлением веществ, чуждых исходным геосистемам спонтанного развития, и с их удалением вследствие механических нарушений и трансформации природных биогеохимических циклов. Увеличение содержания микроэлементов объясняется загрязнением буровыми растворами на основе глин различного состава. Геохимическая ассоциация загрязнителей при этом различна и зависит от состава буровых растворов, степени механических нарушений, особенностей применяемых технологий (создание насыпного основания, наличие гидроизоляции шламовых амбаров и т. д.). Чаще всего в грунтах буровых площадок аккумулируются Ba, Pb, Zn, Co.

Очень часто наблюдается загрязнение территорий нефтью и нефтепродуктами, засоленными пластовыми водами. Интенсивная геохимическая трансформация, вызывающая изменения вещественного состава, проявляется в непосредственной близости от буровых площадок. Изменение форм и активности биогенной и водной мигра-

ции веществ приводит к нарушениям природных биогеохимических циклов, что проявляется в изменении состава поверхностных вод и донных отложений – в повышении концентрации элементов, чей цикл биогенной миграции нарушен (Zn, Mn, Pb, Cu), либо тех элементов, водомиграционная активность которых возросла из-за трансформации окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий (Fe, Ni). Степень загрязнения атмосферы техногенными пылевыми выбросами, из-за чего металлы попадают в различные компоненты геосистем, невелика и проявляется в пределах первых километров от буровой.

4.2.2. Стадия эксплуатации месторождений

Эксплуатация месторождений углеводородного сырья – наиболее длительный этап техногенного воздействия. За время обустройства и эксплуатации месторождения значительно возрастает интенсивность техногенеза, расширяется спектр источников техногенного воздействия, увеличивается площадь нарушенных земель. Помимо бурения кустов эксплуатационных скважин, добыча углеводородного сырья требует создания соответствующей транспортной инфраструктуры: прокладки дорог, ЛЭП, системы сборных и магистральных трубопроводов, строительства объектов первичной подготовки нефти и газа для обеспечения соответствующих параметров углеводородного сырья, делающих возможным их транспортировку по трубопроводной сети. Неизбежно строительство жилых объектов, от временных, обслуживающих одну буровую, до крупных постоянных поселков и городов.

Характеристика геохимической трансформации ландшафтов на стадии эксплуатации выполнена по результатам исследований Ново-Уренгойского, Восточно-Уренгойского, Тальникового, Фаинского, Самотлорского месторождений. В зоне лесотундр была обследована территория Ново-Уренгойского и Восточно-Уренгойского месторождений, где промышленные объекты расположены на плоской, местами пологоволнистой заозеренной равнине с абсолютными отметками высот 40–50 м, сложенной преимущественно породами легкого механического состава. Господствующим типом урочищ являются бугорковатые и бугристые ерниковые кустарничково-лишайниковые тундры, почвенный покров которых представлен комплексом тундровых торфяно-глеевых и элювиально-глеевых почв. Широкое распространение имеют болотные урочища, среди которых преобладают комплексные плоскобугристые болота с торфяными олиготрофными почвами. Лиственничные редкостойные леса и редколесья, произрастающие на подзолах, приурочены к крайним частям водоразделов и речным долинам. В ходе исследований изучено воздействие различных промышленных объектов – площадки УКПГ, полигона твердых бытовых отходов (ТБО), производственных баз, кустов скважин.

Важным индикаторным показателем интенсивности воздействия, как и на стадии геолого-разведочных работ, является величина водородного показателя (рН). На нее влияют сохранность почвенных органи-

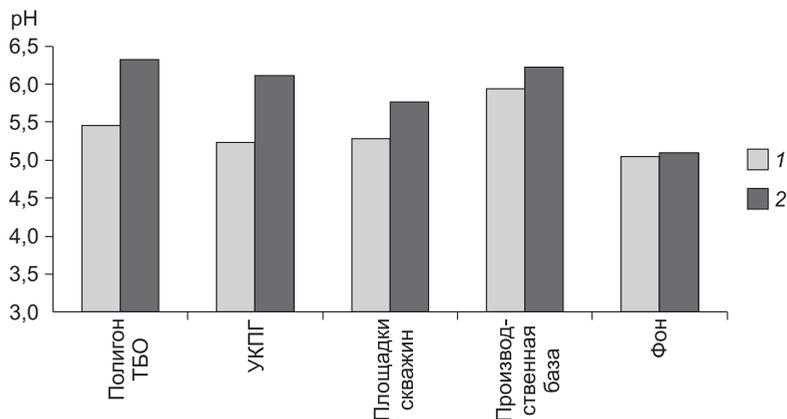


Рис. 4.11. Величина $pH_{\text{водн}}$ почв при различных типах воздействия: месторождения: 1 – Ново-Уренгойское, 2 – Южно-Русское

генных горизонтов, интенсивность разливов буровых растворов и пластовых вод. Загрязнение буровыми растворами и пластовыми водами, удаление органогенных горизонтов – всё это приводит к сдвигу pH в сторону подщелачивания (рис. 4.11). Этот факт неоднократно подчеркивался различными исследователями [205, 207]. Попадание в почву минерализованных природных вод (рассолов) вызывает коренную перестройку почвенного поглощающего комплекса, изменение кислотно-щелочных условий и трансформацию строения гумусового профиля.

Существенные изменения претерпевает микроэлементный состав почв, причем набор типоморфных элементов зависит от источника воздействия. Площадки кустов скважин характеризуются повышенным содержанием бария и сниженным – большинства других микроэлементов за счет усиления водной миграции и удаления органогенного горизонта почв. На территории промзон уровень содержания большинства микроэлементов незначительно повышен по сравнению с фоновым уровнем. Полиэлементным составом и максимальными значениями коэффициента концентрации характеризуются грунты полигонов бытовых отходов, где отмечены повышенные концентрации меди, никеля, свинца, железа (рис. 4.12). При анализе содержания цинка в почвах, подверженных различным формам техногенного воздействия, очевидно, что уровень загрязнения мал либо загрязнения нет вообще. С биологическим накоплением связаны максимальные концентрации цинка в органогенных горизонтах ненарушенных торфяных почв плоско- и крупнобугристых болот и хасыреев. После механического нарушения поверхностных горизонтов почв отмечено снижение содержания ряда других элементов, в частности никеля и стронция. Таким образом, особенности формирования микроэлементного состава связаны как с внесением элементов, не свойственных почвам спонтанного развития, так и с нарушением биологического накопления на участках нарушений.

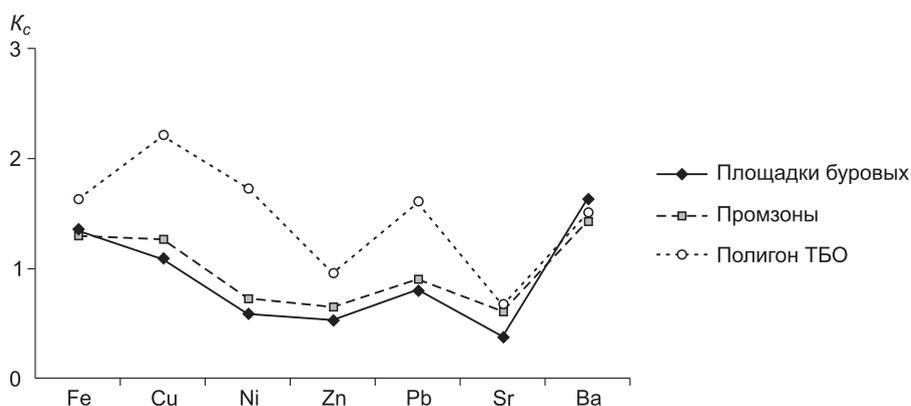


Рис. 4.12. Величины коэффициента концентрации K_c в почвах различных функциональных зон газовых промыслов (Ново-Уренгойское и Восточно-Уренгойское месторождения)

Одним из индикаторов техногенных процессов загрязнения, связанных со сжиганием нефти, моторного топлива, бытовых отходов, являются полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), т. е. углеводороды, состоящие из двух и более колец. ПАУ содержатся в нефти в количестве от 1 до 4 %. Ароматические углеводороды – самые токсичные компоненты нефти. Среди ПАУ наибольшее внимание обычно уделяется 3,4-бензопирену как самому распространенному представителю канцерогенных веществ. В сырой нефти, не подвергавшейся значительному термическому воздействию, ПАУ обнаруживаются редко. Вместе с тем их количество резко возрастает в продуктах переработки нефти, особенно велико поступление ПАУ при высокотемпературном сгорании углеводородного сырья [51].

Необходимо отметить, что в отличие от сырой нефти ПАУ слабо подвержены химической и биологической деструкции. Сложность трансформации ПАУ объясняется их стойкостью к микробиологическому расщеплению, особенно в условиях холодного климата. Длительная сохранность ПАУ способствует их накоплению в почвах. Один из основных источников ПАУ – выхлопы автомобильного транспорта, особенно с дизельным двигателем.

Как показали результаты опробования, в донных отложениях рек, пересекающих территорию ряда нефтяных и газовых месторождений, содержание ПАУ изменяется от 1 до 9,1 мг/кг (среднее значение составляет 4,2 мг/кг). Учитывая, что допустимый уровень для суммы ПАУ в донных осадках определен на уровне 4 мг/кг [269, 278], можно констатировать повышенные концентрации этих веществ на территории месторождений углеводородов Тюменского севера. Превышение экологического норматива выявлено в половине проанализированных проб. Характерно, что практически во всех обследованных водных объектах наблюдается возрастание концентрации ПАУ при пересечении водото-

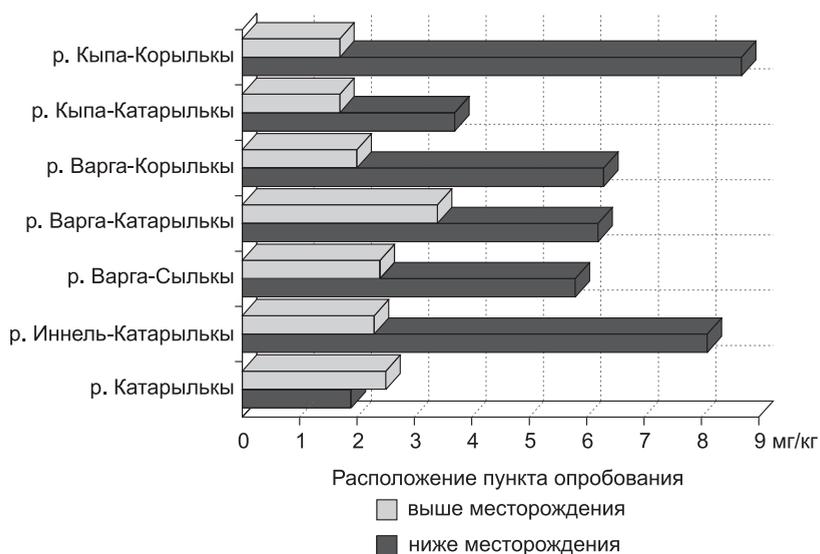


Рис. 4.13. Распределение суммы ПАУ, мг/кг, в донных отложениях рек (зона лесотундры, Красноселькупский район)

ком территории месторождения (рис. 4.13). И все случаи превышения допустимого уровня отмечены вблизи производственных объектов либо на выходе с территории месторождений. На фоновых участках содержание ПАУ минимально. Таким образом, сумма полициклических ароматических углеводородов выступает достоверным индикатором техногенного воздействия.

Исследование состава почв и насыпных грунтов в Среднем Приобье проводилось в пределах Самотлорского (Нижневартовский район), Каменного (Ханты-Мансийский район) и Фаинского (Сургутский район) месторождений.

Разработка Каменного месторождения, расположенного на левом берегу р. Обь, примерно в 80 км ниже устья Иртыша, началась более 20 лет назад. Инфраструктура месторождения включает разведочные и эксплуатационные скважины, ЛЭП, ДНС, трубопроводы, сопутствующие коммуникации. Многие скважины располагаются в пределах поймы Оби на насыпном песчаном основании. В насыпных грунтах содержание микроэлементов на очень низком уровне и составляет десятые доли от кларка почв. Бедный микроэлементный состав связан с абсолютным преобладанием кварца в минералогическом составе. Большинство площадок в различной степени загрязнено нефтью и нефтепродуктами. Часто наблюдаются утечки нефти из устьевых задвижек. Это приводит к миграции загрязнителей и накоплению их в донных отложениях. На начальном этапе освоения (середина 1990-х гг.), согласно данным оценки фоновое состояние окружающей среды, содержание нефтепродуктов в донных отложениях р. Обь и ее притоков в пределах Каменного месторождения составляло 8,8–15,0 мг/кг. Таким образом, в

соответствии с региональным нормативом¹ донные грунты были незагрязненными. Последующая эксплуатация привела к существенному увеличению концентрации нефтепродуктов в донных отложениях. По результатам мониторинговых исследований, проведенных в 2003 г., было определено, что концентрация нефтепродуктов изменялась от 5 до 279 мг/кг (в среднем – 105,7 мг/кг). Большинство проб относилось к категории “загрязненных” (концентрация нефтепродуктов в интервале от 55 до 205 мг/кг). В 2008 г. среднее содержание нефтепродуктов возросло и составило в среднем 152 мг/кг, т. е. по сравнению с 2003 г. увеличилось в 1,5 раза при диапазоне варьирования от 5 до 370 мг/кг. Возросло содержание нефтепродуктов в донных осадках вблизи кустов скважин и площадок буровых.

Также в донных отложениях было зафиксировано повышенное содержание свинца, которое изменялось от 20,4 до 70,3 мг/кг. Рост концентраций связан с поступлением техногенных взвесей, содержащих большое количество этого элемента. Максимальные концентрации отмечены в донных отложениях прот. Ендырская возле куста эксплуатационных скважин. Выявленные концентрации выше кларка литосферы в 4–4,5 раза и превышают уровень ПДК валовых форм свинца для почв. Таким образом, состав донных осадков дает основание для вывода о неблагоприятном влиянии разведочных и эксплуатационных скважин на прибрежные и водные экосистемы, что выражается в увеличении содержания нефтепродуктов и свинца.

На территории Фаинского месторождения, расположенного на левом берегу р. Обь, приблизительно в 30 км выше г. Сургут, грунты площадок добывающих скважин отличаются бедным микроэлементным составом, однако зафиксированы многочисленные случаи нефтяного загрязнения (почти половина площадок в той или иной степени загрязнена). Из-за нефтяного загрязнения на прикустовых участках усыхает напочвенная растительность, что вместе с деградацией древесного яруса приводит к полной деградации биоценозов (рис. 4.14). Отмечается рост содержания нефтяных углеводородов в воде близлежащих озер в 3–5 раз.

Вычисленные коэффициенты концентрации K_c , характеризующие степень загрязнения почв, свидетельствуют, что в песчаном основании площадок содержание микроэлементов меньше, чем в природных почвах ($K_c < 1$), поскольку кварцевый песок характеризуется крайне бедным минералогическим и микроэлементным составом. Вместе с тем содержание нефтепродуктов превышает фоновые показатели на порядок ($K_c > 10$) (рис. 4.15).

¹ Постановление Правительства Ханты-Мансийского автономного округа–Югры от 10.11.2004 № 441-п «Об утверждении регионального норматива “Предельно допустимый уровень содержания нефти и нефтепродуктов в донных отложениях поверхностных водных объектов на территории Ханты-Мансийского автономного округа–Югры”».



Рис. 4.14. Деградация древесного яруса на месте нефтяного разлива

Нужно отметить, что в случае интенсивного нефтяного загрязнения микроэлементный состав почв также претерпевает изменение. Обогащенность нефтей рядом микроэлементов приводит к изменению элементного состава. Отмечалось, что в загрязненных нефтью торфяных почвах ряд элементов (Ti, V, Cr, Ni, Zr, Ba) накапливается в верхнем,

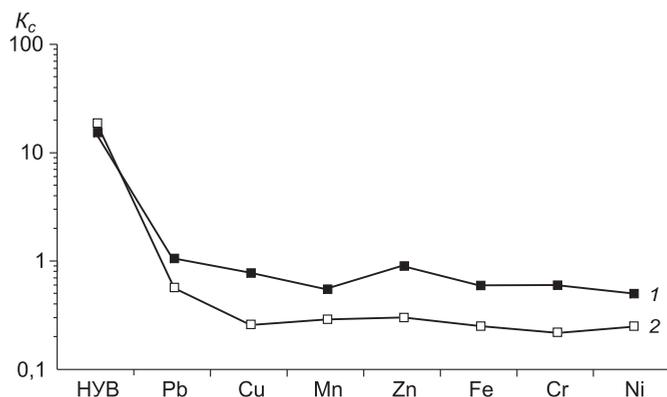


Рис. 4.15. Содержание веществ-загрязнителей в грунтах добывающих скважин на месторождениях Среднего Приобья:

месторождения: 1 – Каменное, 2 – Фаинское

битуминозном, слое торфа, в то время как другие элементы (Mn, Zn, Cu, Sr), напротив, мигрируют в глубь торфяной толщи вместе с легкими фракциями углеводородов [40].

Проведенное нами обследование микроэлементного состава нефтезагрязненных почв Самотлорского месторождения свидетельствует, что в верхней (0–20 см) толще почв индикаторными элементами выступают ванадий, никель и свинец. Содержание биогенных Zn и Mn, напротив, понижено (табл. 4.8).

По данным исследования нефтей Ханты-Мансийского округа, никель наряду с ванадием доминирует в микроэлементном составе [260]. Полученные нами результаты подтверждаются данными Е.Г. Нечаевой [157], согласно которым в загрязненных нефтью мохово-болотных и таежно-луговых травяных объектах Среднего Приобья в несколько раз ниже концентрации биогенных и щелочно-земельных элементов (P, Mn, Cu, Ca, Mg) и относительно выше концентрация тяжелых металлов (Ti, V, Cr).

Можно констатировать, что на этапе эксплуатации месторождений загрязнение связано с разливами нефти и нефтепродуктов, минерализованных пластовых вод. Трансформация микроэлементного состава разнонаправлена: насыпные песчаные основания кустов добывающих скважин отличаются крайне бедным составом, техногенное загрязнение проявляется вблизи полигонов складирования промышленных и бытовых отходов, на территории промзон, где концентрации ряда элементов (Cu, Ni, Pb, Zn) повышены в 1,5–3 раза.

4.3. Особенности техногенных потоков нефтяных углеводородов и хлоридов в ландшафтах Западной Сибири

Как отмечено выше, наиболее часто загрязнение природных комплексов связано с разливами нефти и пластовых вод. Практически любое ландшафтно-геохимическое исследование в нефтедобывающих районах Западной Сибири рассматривает в той или иной степени проблему нефтяного загрязнения. Исследованию нефтяного загрязнения посвящен ряд специальных работ [172, 207, 242, 243]. Силами недропользователей ведется регулярная статистическая отчетность, фиксирующая аварии, объемы загрязнителей и площадь загрязненных земель. Тем не менее официальная статистика, публикуемая в соответствующих обзорных материалах [73, 89–91], не дает четкой и объективной картины,

Таблица 4.8

Содержание микроэлементов, мг/кг, в болотных верховых почвах на участках с нефтяными разливами (Самотлорское месторождение)

Элемент	Загрязненные почвы	Фоновые почвы	K_c
Mn	1827	2434	0,75
V	28,2	20,8	1,36
Cr	138	146	0,94
Ni	71,2	58,3	1,22
Co	10,1	8,4	1,20
Cu	132	145	0,91
Zn	206	287	0,71
Pb	135	104	1,29

поскольку заинтересованность недропользователей в снижении данных об аварийности очевидна. Учитываются только разливы нефти при авариях, но игнорируется диффузное загрязнение от кустовых площадок, которое на месторождениях с длительным сроком эксплуатации составляет от 40 до 65 % от общего объема нефтезагрязнения [213].

Проведенный нами анализ ионного состава грунтовых вод в районе размещения шламовых амбаров и площадок наземного складирования отходов бурения на различных участках нефтедобычи ХМАО свидетельствует о формировании ореолов солевого загрязнения. Воды наблюдательных скважин, пробуренных рядом со шламовыми амбарами, как правило, содержат повышенное количество хлоридов. Так, на Самотлорском месторождении содержание ионов Cl^- в грунтовых водах в районе площадок складирования нефтешламов составляет от 23 до 120 мг/дм³ при фоновых величинах 1–2 мг/дм³. Содержание нефтяных углеводородов в грунтовых водах в зоне влияния площадки нефтешламов варьировало от 0,02 до 2,88 мг/дм³ (фоновые величины от 0,02 до 0,23 мг/дм³). Еще более значительное загрязнение было зафиксировано в пределах Ван-Еганского месторождения, где воздействие шламового амбара привело к увеличению содержания в грунтовых водах наблюдательных скважин хлоридов до 1135–2609 мг/дм³, а нефтепродуктов до 0,11–5,2 мг/дм³. Весьма показательно, что на обследованном участке происходит значительное (более чем двукратное) возрастание минерализации и содержания хлоридов в воде ближайшего водотока.

Хлориды относятся к наиболее подвижным компонентам миграционных техногенных потоков в районах нефтедобычи [207]. Их поступление связано с подземными водами нижнего гидрогеологического этажа. Засоленные пластовые воды имеют хлоридно-натриевый состав и минерализацию, составляющую 15–20 г в 1 дм³, что на три порядка выше минерализации поверхностных вод, в которых содержание хлоридов исчисляется миллиграммами. В общем случае, при загрязнении наиболее активно в составе почвенно-грунтового стока мигрируют самые подвижные компоненты. Водорастворимые хлориды значительно легче проходят через “сито” почвенных горизонтов, чем нефть (особенно ее тяжелые фракции). Поэтому техногенные потоки, связанные с поступлением на поверхность пластовых минерализованных вод, довольно сильно отличаются от потоков, обязанных своему происхождению нефтяным разливам. При любом начальном составе солей в техногенных потоках важнейшая закономерность первичной геохимической дифференциации солей – “отгонка” соединений хлора в нижнюю часть почвенного профиля и к краевым зонам ореолов загрязнения [207]. В процессе посттехногенной латеральной миграции солей продолжается пространственное разделение составляющих компонентов, в частности опережающий вынос ионов Na и Cl. В условиях гумидного климата соли легко и быстро мигрируют в почвенно-грунтовой толще.

Обобщенная схема распределения хлоридов в грунтовых водах, построенная по данным обследования 17 шламовых амбаров в Среднем Приобье, представлена на рис. 4.16.

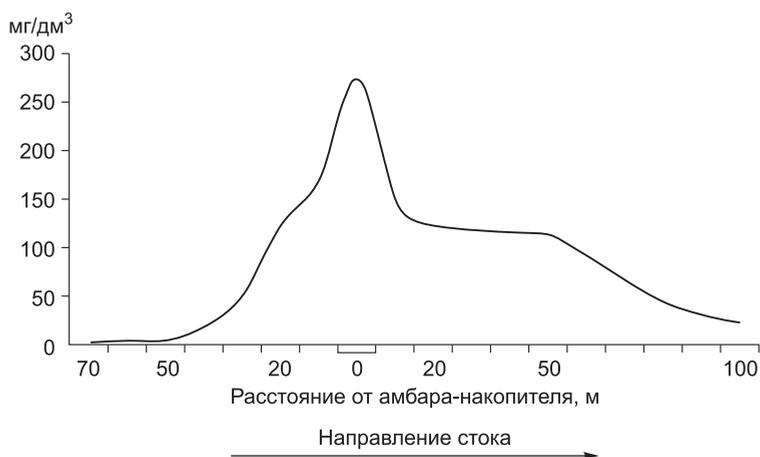


Рис. 4.16. Обобщенная схема распределения хлоридов в грунтовых водах в районе размещения шламовых амбаров

Четко проявляется центральное ядро ореола, что соответствует первой, сингенетической, стадии становления ореолов засоления [207]. Отчетливо установлено влияние шламовых амбаров не только по направлению стока, но и выше его в пределах 50 м, что связано с малыми уклонами поверхности. В направлении движения стока зона повышенных концентраций прослеживается на расстоянии свыше 100 м, происходит значительное возрастание минерализации и содержания хлоридов в водах близлежащих водоемов. Постепенная миграция водорастворимых солей по направлению стока грунтовых вод приводит к рассолению. В зоне влияния амбаров 5–10-летней давности ореолы солевого загрязнения проявляются слабо [75]. Влияние щелочных буровых растворов приводит также к увеличению значений pH грунтовой воды в районе шламовых амбаров по направлению стока. Основные ответные реакции почв на техногенный галогенез – перестройка почвенно-поглощающего комплекса, повышение содержания обменного натрия, изменение содержания ионов H^+ и Al^{3+} , содержания обменных оснований, изменение щелочно-кислотных характеристик – сдвиг pH к щелочному плечу в верхних горизонтах при заметном подкислении в нижних [207, 209].

При определении степени загрязнения используется анализ гидрохимических показателей в репрезентативных водных объектах. Актуальность изучения нефтяного загрязнения водных объектов связана еще и с тем, что поступление нефти в водные экосистемы крайне опасно в экологическом отношении и часто вызывает их необратимую деградацию. Обладающая пониженной вязкостью нефть способна к обширному растеканию по поверхности воды – до мономолекулярного слоя [147]. Нефть наиболее опасна для неглубоких водоемов с низкой теплообеспеченностью; участками наибольшего экологического риска являются места с максимальным биологическим разнообразием, выпол-

няющие функции воспроизведения биоресурсов или значимых в качестве коридоров миграции [256].

Процессы миграции нефти в почвах были предметом многочисленных научных исследований. В геосистемах гидроморфного режима латеральная миграция преобладает над радиальной. Большую роль в распределении нефти играет болотный микрорельеф: болота с хорошо выраженным микрорельефом препятствуют растеканию нефти в вертикальном и горизонтальном направлениях [178]. Интенсивность растекания нефти и площадь загрязнения максимальны в осоково-сфагновых топях и минимальны в грядово-мочажинных комплексах со значительной площадью гряд, где разливы локализуются на поверхности, а глубина проникновения загрязнителей составляет 10–20 см.

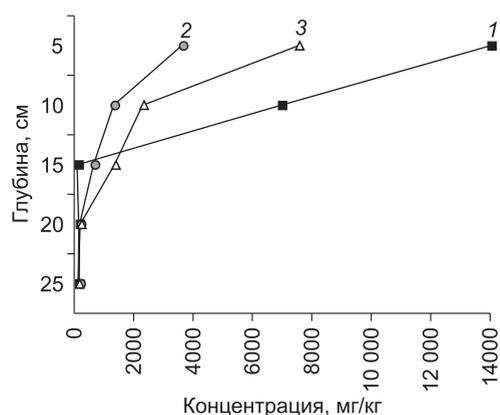
В локализации распространения нефти велика роль торфяных болот как естественных фильтров. Свойства торфа определяют жесткий захват загрязнителей и их устойчивое накопление в органогенном материале [207]. Уместно утверждать, что торфяные болота служат природными ловушками, которые сорбируют и тем самым задерживают многие вещества, являясь мощными геохимическими барьерами на пути миграции химических веществ техногенного происхождения [254].

В минеральных почвах глубина проникновения нефти увеличивается. Нефтяные вещества в жидкой фазе проникают в горизонт грунтовых вод по порам и трещинам пород зоны аэрации, где преобладает движение в вертикальном направлении. При распространении нефтяных компонентов по почвенному разрезу вниз происходит сорбция асфальтово-смолистых компонентов нефти. В нижних горизонтах почвенного профиля уменьшается как количество, так и молекулярный вес нефтяных компонентов [172]. Когда жидкие нефтепродукты встречаются на своем пути менее проницаемый слой или достигают уровня грунтовых вод, происходит накопление и растекание этих продуктов в горизонтальном направлении [64]. Скорость миграции различных компонентов нефти в почвах зависит от множества условий, но определяющими являются механический состав и водно-термический режим. Модельные и полевые опыты показали, что нефтяные вещества в виде однофазной жидкости в случае одноразового загрязнения распространяются по поверхности грунтовых вод на сравнительно небольшие расстояния. Обычно образуется ядро рассеивания диаметром до нескольких десятков метров, которое в относительно короткое время стабилизирует свою форму и в последующем мало изменяется [64].

Особо следует остановиться на влиянии линейных сооружений на формирование поверхностного стока и, следовательно, на распространение нефти при ее разливах. Зачастую автодороги, железнодорожные насыпи или коридоры коммуникаций препятствуют естественному стоку. В случае разлива нефти она скапливается в придорожной полосе, формируя линейные по форме пятна, в пределах которых происходит деградация растительного покрова.

Рис. 4.17. Распределение НУВ в почве при нефтяных разливах:

1 – болотная верховая почва; 2 – глееподзолистая почва; 3 – подзол иллювиально-железистый



В качестве примера приведем результаты анализа содержания нефтепродуктов в профиле различных почв с приблизительно равным сроком, прошедшим после аварии (3–4 года). В болотной торфяной почве глубина проникновения загрязнителей ограничивается верхними 10 см, в то время как в песчаном подзоле снижение до фонового уровня наблюдается на глубине около 20 см (рис. 4.17). Как правило, распространение нефти по вертикальному профилю легко прослеживается визуально, и основная масса загрязнителей концентрируется в поверхностных горизонтах.

Попадание нефти в водоемы после разлива возможно при нескольких условиях: разлив происходит поблизости от водного объекта; количество пролитой нефти достаточно велико; рельеф имеет значительный уклон; микрорельеф слабо выражен или простирается вдоль линий стока.

Расстояние, на которое могут быть перенесены нефтяные углеводороды, определяется как количеством загрязнителей, так и наличием переносящих объемов воды, циркулирующей в почвах, свойствами почв и грунтов [207]. Большое значение имеет рельеф и расположение участка разлива в системе геохимических сопряжений ландшафтных фаций. Возвышенные, изрезанные долинами ручьев ландшафты с холмисто-увалистым рельефом обуславливают вытянутую форму нефтяного пятна. Наибольшие по площади разливы случаются в районах с общей выровненностью рельефа, на верховых олиготрофных болотах с высоким уровнем грунтовых вод [243]. Перенос нефти из почв в водные объекты наиболее характерен для пойменных ландшафтов. В поймах происходит периодическое смывание загрязнителя и равномерное его перераспределение по площади при отсутствии переходных зон [242].

В целом многочисленные исследования формирования техногенных потоков рассеяния нефти свидетельствуют, что основная масса загрязнителей локализуется в месте разлива либо в пределах нескольких сотен метров. Тем не менее возможен и более значительный перенос. В первую очередь это касается участков обводненных болот пойм и надпойменных речных террас без выраженного микрорельефа, где возможно обширное растекание нефтепродуктов и перенос их в водотоки во время затопления. На участках распространения многолетнемерзлых пород

отмечены случаи переноса углеводородных загрязнителей с надмерзлотной верховодкой при отсутствии поверхностного проявления техногенного потока [207]. Случай весьма протяженного перемещения грунтовыми водами нефтяных веществ с длиной загрязненного участка 3,5 км и площадью 4,2 км² описан в монографии В.М. Гольдберга и С. Гадзы [64]. Столь обширное загрязнение возникло вследствие систематической 20-летней утечки нефтепродуктов, средняя скорость перемещения оценивалась в 0,4 м/сут. В целом распространение нефти с попаданием в водотоки происходит при превышении “критической массы” загрязнителей. Катастрофы, подобные серии аварий на Усинском нефтепроводе (Республика Коми) в 1994 г., где в окружающую среду поступило, по разным оценкам, от 60 до 200 тыс. т нефти, а толщина слоя нефти на поверхности составляла 10–50 см [108], практически неизбежно приводят к дальнейшему распространению нефти и попаданию в водотоки.

Нельзя забывать и тот факт, что углеводороды нефтяного ряда, определяемые в отечественной методике химических анализов как “нефтепродукты”, образуются также в результате процессов трансформации органического вещества почвы, т. е. имеют природное происхождение. Одной из важных, но нерешенных до настоящего времени проблем является проблема разграничения техногенной и природной составляющих углеводородов в почвах и воде. Углеводороды, по химическому свойству весьма близкие углеводородам нефти, могут возникать в результате биохимических процессов в почве, донных осадках, живых организмах. В качестве примера можно привести результаты исследования состава водных вытяжек торфов: даже при отсутствии признаков загрязнения содержание аквабитумоидов в водной фазе достигает 0,96–7,5 мг/л, причем на долю углеводородов (нефтепродуктов) приходится 14–38 % (0,3–1,08 мг/л) [20]. Отсутствие заметных различий в химическом составе и структуре углеводородов придают особую остроту проблеме оценки их генезиса. Четкая идентификация природы органического загрязнения гидросферы во многих случаях затруднена, что связано со следующими факторами: с широким спектром природных органических соединений, участвующих в формировании органического фона гидросферы; с относительно быстрой трансформацией поступающих в гидросферу органических веществ за счет процессов их геохимической и микробиологической деструкции; со сложным характером пространственного и временного перераспределения органических соединений в гидросфере за счет широкого диапазона растворимости, адсорбционных свойств и других факторов [20].

Исследования, проведенные с использованием различных методик определения нефтепродуктов (люминесцентный метод, УФ- и ИК-спектрофотометрический, весовой и др.), показали, что в основу идентификации естественных и нефтяных углеводородов могут быть положены различия в соотношениях углеводородных и полярных компонентов либо различие в групповом составе, т. е. в соотношении алифатических и ароматических углеводородов [197]. Диагностическими признаками

также являются особенности компонентного состава ароматических и алифатических углеводородов. Однако сами авторы вышеуказанного исследования отмечают, что им не удалось обнаружить резких различий в групповом составе естественных и нефтяных углеводородов. Другим возможным способом идентификации техногенных загрязнений может стать вычисление отношения общего содержания углеводородов в воде и валового содержания органического вещества [22]. В зарубежных исследованиях путь решения проблемы видят в анализе количества и соотношения отдельных компонентов углеводородов. Одним из наиболее распространенных методов стал метод построения газожидкостных хроматограмм. Существуют подробные рекомендации относительно применения метода газожидкостной хроматографии при анализе загрязненных нефтью образцов, в частности биологических образцов, содержащих также природные липиды [147]. Исследование углеводородов “торфяного происхождения” показало, что в их составе преобладают высокомолекулярные *n*-алканы C₂₄–34 (55–93 %), в то время как для нефтей характерно преобладание низкомолекулярных *n*-алканов (C₁₄–19) [20]. Соотношение биогенного углеводорода пристана (pristane) и петрогенного фитана (phytane) может диагностировать источник углеводородов (биогенный при соотношении более 20 или петрогенный при соотношении 1–3) [276].

К сожалению, следует констатировать, что четкие принципы анализа техногенной составляющей углеводородного загрязнения в отечественной аналитической химии не разработаны и эта проблема еще ждет своего решения.

5.1. Уровень загрязнения атмосферы на участках нефтедобычи

Современная роль науки в значительной степени состоит в создании оснований для принятия управленческих решений. В этом отношении важнейшая задача экогеохимии – объективная оценка уровня техногенной нагрузки в регионе. Для решения задач экологической оценки и прогноза необходим учет различных путей поступления загрязнителей, в том числе аэральная миграция химических элементов. Атмосфера является важным звеном в транспортировке и последующем осаждении токсикантов на поверхность земли. Выбросы загрязняющих веществ, поступающих воздушным путем, существенно влияют на состав атмосферных выпадений, которые в свою очередь являются одним из факторов формирования химического состава поверхностных вод и почв. Химические элементы, поступившие воздушным путем, включаются в биогеохимические циклы миграции, где их поведение определяется как свойствами самого элемента, так и спецификой ландшафтно-геохимической обстановки.

Актуальность изучения химических параметров атмосферы на севере Западной Сибири связана с возрастанием количества аэротехногенных выбросов. Отмечалось, что освоение многочисленных месторождений нефти и газа сопровождается поступлением в атмосферу разнообразных загрязнителей – окислов азота и серы, углеводородов, тяжелых металлов [75, 138, 175, 182, 183]. Основную долю составляют выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников предприятий нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности (83 %). Главные источники загрязнения атмосферного воздуха – сжигание попутного нефтяного газа на факельных хозяйствах предприятий нефтедобычи, котельные и технологические печи, резервуары, испарение из нефтяных разливов; количество загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу, в округе достигло приблизительно 3 млн т [284]. Наиболее сильное загрязнение атмосферного воздуха происходит на стадии добычи при сжигании не утилизованного попутного газа в факелах, что несет серьезную угрозу для наземных экосистем [48, 213]. Загрязнение не ограничивается территорией нефтепромыслов, а распространяется на сопредельные участки. Так, атмосфера Нижневартовска загрязнена выбросами факелов Самотлорского и других месторождений [8].

Существенное влияние на уровень загрязнения атмосферы северных районов Западной Сибири оказывает трансграничный перенос воздушных масс, благодаря которому выпадение поллютантов происходит на значительных расстояниях от источника загрязнения. Трансгра-

ничным переносом определяется “фоновый” уровень атмосферных выпадений в регионе. Считается, что основные антропогенные источники загрязнения расположены на Кольском п-ове, Южном и Среднем Урале, на юге Западной Сибири. С востока поступают загрязнители из Норильского горно-металлургического комбината [174, 175]. Отмечено, что атмосферные выбросы из соседних с Тюменской областью районов металлургического производства – Урала и Норильска – достигают Аляски и Канадской Арктики в результате западного переноса воздушных масс [257]. Таким образом, исследование уровня атмосферных выпадений имеет как прикладное значение (для оценки загрязнения от местных локальных источников в условиях интенсивного освоения нефтяных и газовых месторождений), так и более широкое, представляя интерес для оценки фонового переноса загрязнителей на севере Евразии.

В соответствии с требованиями к ведению системы экологического мониторинга в границах лицензионных участков недр, на территории ХМАО–Югры в атмосферном воздухе определяются следующие загрязняющие вещества: диоксид азота (NO_2), оксид азота (NO), диоксид серы (SO_2), оксид углерода (CO), метан (CH_4), взвешенные вещества (пыль неорганическая), сажа (технический углерод). Концентрация загрязняющих веществ в атмосферном воздухе оценивается по действующим экологическим нормативам (ПДК), составляющим для NO_2 – 0,2 мг/м³, NO – 0,4, SO_2 – 0,5, CO – 5,0, CH_4 – 50, взвешенных веществ – 0,5, сажи – 0,15 мг/м³.

Результаты мониторинга, отраженные в табл. 5.1, свидетельствуют, что состояние атмосферного воздуха на участках нефтедобычи ХМАО–Югры в подавляющем числе случаев удовлетворяет установленным нормативам ПДК. Случаи превышения ПДК единичны и наблюдаются для диоксида азота и диоксида серы.

Среднее содержание загрязнителей находится на стабильном уровне либо проявляет тенденцию к снижению (сажа, взвешенные вещества). Только для метана отмечено возрастание среднего значения в 2011 г. по сравнению с 2008–2010 гг.

Для оценки техногенного влияния объектов инфраструктуры нефтедобывающего комплекса пункты мониторинга были поделены на три категории: условно-фоновые (вне прямого воздействия техногенных объектов), участки подфакельных наблюдений и контрольные участки, характеризующие влияние разведочных и добывающих скважин и других объектов. Полученные результаты свидетельствуют, что между условно-фоновыми участками и участками техногенеза не наблюдается значительных различий по содержанию взвешенных веществ, оксида углерода. Отмечено увеличение в точках подфакельных наблюдений содержания диоксида азота и сажи (в 2 раза), оксида углерода и метана (в 1,3 раза). В контрольных пунктах наблюдений повышено содержание сажи (в 2 раза), диоксида азота (в 1,5 раза), диоксида серы и оксида азота (в 1,3 раза) (рис. 5.1). На участках подфакельных наблюдений зафиксированы повышенные концентрации диоксида азота и сажи, в контрольных пунктах увеличено содержание метана.

Таблица 5.1

Состав атмосферного воздуха на участках распределенного фонда недр ХМАО–Югры, мг/м³

Год	NO	NO ₂	SO ₂	CO	Метан	Взвешенные вещества	Сажа
2004	0,04 (0,0003 – 0,49) 808	0,019 (0,001 – 0,091) 1001	0,017 (0,006 – 2,0) 999	0,77 (0,01 – 3,69) 919	5,4 (4,0 – 56,5) 115	0,08 (0,04 – 0,41) 419	0,02 (0,0125 – 0,025) 467
2005	0,02 (0,001 – 0,75) 927	0,020 (0,0004 – 0,13) 1044	0,03 (0,002 – 0,350) 1006	0,89 (0,004 – 6,63) 879	3,77 (0,25 – 13,4) 236	0,12 (0,003 – 0,5) 489	0,04 (0,003 – 1,2) 629
2006	0,03 (0,0005 – 0,39) 857	0,016 (0,001 – 0,13) 848	0,036 (0,001 – 0,44) 821	0,75 (0,035 – 19,6) 939	6,74 (0,75 – 25,9) 290	0,088 (0,01 – 0,44) 642	0,02 (0,004 – 0,3) 641
2007	0,05 (0,0005 – 1,44) 2211	0,039 (0,001 – 8,35) 2223	0,088 (0,001 – 0,49) 2225	0,76 (0,015 – 3,61) 2261	5,19 (0,025 – 25,0) 668	0,1 (0,0006 – 0,41) 1624	0,035 (0,01 – 3,05) 1604
2008	0,04 (0,0005 – 0,66) 2054	0,040 (0,0008 – 0,188) 2051	0,03 (0,001 – 0,405) 2032	0,81 (0,008 – 7,50) 2034	4,56 (0,09 – 25,0) 1501	0,17 (0,01 – 0,5) 1891	0,06 (0,01 – 0,3) 1867
2009	0,04 (0,0005 – 0,62) 1442	0,030 (0,001 – 0,198) 1440	0,04 (0,001 – 0,49) 1435	0,85 (0,004 – 4,21) 1446	3,05 (0,01 – 50,0) 1291	0,15 (0,01 – 3,7) 1173	0,02 (0,0125 – 0,26) 1425
2010	0,04 (0,0005 – 0,362) 1582	0,032 (0,0005 – 0,186) 1583	0,04 (0,001 – 1) 1588	0,79 (0,025 – 14) 1590	3,69 (0,137 – 49,1) 1517	0,13 (0,01 – 0,43) 1579	0,02 (0,0003 – 0,142) 1537
2011	0,03 (0,0005 – 0,12) 1424	0,03 (0,001 – 0,38) 1600	0,04 (0,001 – 0,25) 1550	0,82 (0,16 – 4,0) 1518	4,31 (0,46 – 12,5) 1507	0,12 (0,01 – 0,47) 1444	0,01 (0,0125 – 0,049) 1580

Примечание. В числителе – M (min-max); в знаменателе – n (число замеров).

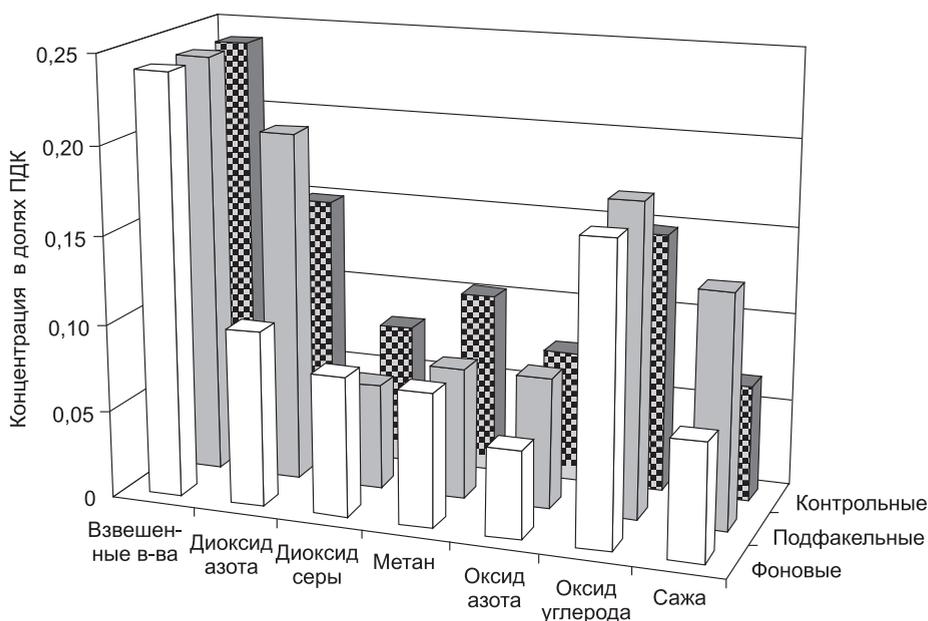


Рис. 5.1. Среднее содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе участков нефтедобычи ХМАО–Югры (2011 г.)

Одним из важнейших методов индикации, картирования и анализа атмосферного загрязнения является исследование состава снегового покрова [30, 159]. Это в полной мере относится к территории северной части Западной Сибири, где длительность зимнего периода с устойчивым снежным покровом составляет 180–240 дней [16]. Снеговой покров является наиболее динамичной составляющей криосферы Земли. Химический состав снега формируется под влиянием комплекса факторов, связанных с климатическими и ландшафтными условиями, особенностями атмосферной циркуляции, а также зависит от антропогенных выпадений веществ-загрязнителей, чему способствует его высокая сорбционная емкость. В тех районах, где зимой господствуют атмосферные системы высокого давления, выпадение загрязняющих веществ в холодный период года часто более интенсивно, чем в теплый. Морозное конденсирование техногенных эмиссий от локальных источников играет существенную роль в формировании атмосферных выпадений [224]. Малая скорость ветров и температурные инверсии, свойственные атмосфере Сибири в зимний период, низкая скорость падения снега по сравнению с жидкими осадками обуславливают возрастание концентрации веществ-загрязнителей. Тающий снег играет важную роль в перемещении загрязняющих веществ, в том числе и тяжелых металлов, в наземной среде. В зависимости от коэффициента стока преобладающая часть талой воды стекает поверх промороженного грунта непосредственно в водотоки и озера. Это явление усиливает возможность загрязнения открытых водоемов, а в условиях инфильтрации – почв и грун-

товых вод [200]. Таким образом, изучение снежного покрова позволяет оценить участие снеговых вод в формировании химического состава поверхностных вод и почв, выявить масштабы и значение техногенного фактора в изменении химического состава зимних атмосферных осадков, охарактеризовать пылевую составляющую атмосферных выпадений.

Вместе с тем особенности формирования состава снежного покрова в полярных и приполярных районах Западной Сибири исследованы недостаточно, в частности, крайне слабо освещен вопрос атмосферных выпадений тяжелых металлов. Вследствие этого в обобщающих отчетах Международной программы мониторинга в Арктике [258] Западная Сибирь остается практически “белым пятном”. Механизм формирования химического состава снега, соотношение вклада локальных источников и дальнего переноса из сопредельных регионов не вполне ясны и являются предметом дискуссии.

В настоящее время химический состав снеговых вод определяется в рамках программ мониторинга на лицензионных участках нефтедобычи и выполняется недропользователями. Помимо этого, департаментом по охране окружающей природной среды регулярно проводится исследование состава снега на фоновых территориях. Полученные данные собираются в единой информационной системе хранения и обработки данных. Обобщенные статистические показатели химического состава снега, полученные по материалам проводимых на территории ХМАО мониторинговых работ, представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

**Статистические показатели химического состава
снеговых вод на территории ХМАО–Югры**

Показатель	<i>M</i>	min–max	Q1–Q3	<i>Me</i>	<i>n</i>
pH	5,4	3,3–9,2	4,7–5,9	5,3	1522
Минерализация, мг/л	28	20–122	25–35	25	88
Взвешенные вещества, мг/л	11,7	0,2–397	2,0–16,3	4,0	340
Сульфаты, мг/л	1,5	<0,5–20,5	0,5–1,6	1,0	1653
Хлориды, мг/л	3,4	0,1–526	0,8–3,1	1,4	1520
Нитраты, мг/л	1,3	0,05–1,1	0,9–1,6	1,25	1474
Аммоний, мг/л	0,34	0,016–2,73	0,13–0,43	0,23	1454
Fe, мкг/л	110	5–5900	40–1000	56	1613
Mn, мкг/л	10,4	0,5–220	5,0–10,5	5,0	1510
Cu, мкг/л	4,7	0,05–78	1,4–4,0	2,0	80
Ni, мкг/л	4,7	0,2–151	1,0–5,0	5,0	1432
Zn, мкг/л	37	0,5–568	10–27	15,0	1608
Cr, мкг/л	7,0	0,1–240	1,0–10,0	5,0	1417
Hg, мкг/л	0,036	0,001–1,76	0,005–0,03	0,01	1120
Фенолы, мкг/л	1,2	<0,5–27	0,5–1,3	1,0	1527
Нефтепродукты, мг/л	0,12	0,005–10,2	0,023–0,08	0,04	1663

При анализе источников воздействия учитываются тип промышленного объекта, влияющий на состав снега в точке опробования (разведочные скважины, эксплуатационные кусты скважин, факелы сжигания некондиционных газовых смесей, площадки складирования снега с территории населенных пунктов, пригородные зоны), географическое положение точки опробования и расстояние от источника эмиссий. Данные по участкам с различным типом воздействия представлены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Состав снеговых вод на участках с различным типом техногенного воздействия

Показатель	Разведочные буровые		Кусты эксплуатационные		Факелы сжигания попутного газа		Свалки снега сели-тебных территорий		Фоновые территории	
	<i>M</i>	<i>K_c</i>	<i>M</i>	<i>K_c</i>	<i>M</i>	<i>K_c</i>	<i>M</i>	<i>K_c</i>	<i>M</i>	<i>K_c</i>
pH	$\frac{5,24}{91}$	0,9	$\frac{5,21}{396}$	0,9	$\frac{5,4}{426}$	0,9	$\frac{6,9}{27}$	1,1	$\frac{6,11}{81}$	1
Взвешенные вещества, мг/л	$\frac{8,6}{9}$	1,0	$\frac{9,3}{130}$	1,1	$\frac{9,1}{33}$	1,1	$\frac{220,2}{11}$	26,2	$\frac{8,4}{56}$	1
Азот нитратный, мг/л	$\frac{1,28}{89}$	2,8	$\frac{1,34}{388}$	3,0	$\frac{1,24}{404}$	2,8	$\frac{0,55}{24}$	1,2	$\frac{0,45}{81}$	1
Азот аммонийный, мг/л	$\frac{0,23}{111}$	1,0	$\frac{0,27}{451}$	1,2	$\frac{0,26}{512}$	1,1	$\frac{1,1}{26}$	4,8	$\frac{0,23}{81}$	1
Железо, мкг/л	$\frac{99}{123}$	1,5	$\frac{103}{425}$	1,6	$\frac{110}{484}$	1,7	$\frac{1100}{127}$	17,2	$\frac{64}{81}$	1
Марганец, мкг/л	$\frac{9,6}{86}$	1,5	$\frac{9,7}{391}$	1,5	$\frac{10,5}{367}$	1,7	$\frac{9,7}{23}$	1,5	$\frac{6,3}{61}$	1
Медь, мкг/л	–	–	$\frac{8,4}{16}$	7,6	–	–	$\frac{2,8}{8}$	2,5	$\frac{1,1}{20}$	1
Хром, мкг/л	$\frac{7,7}{87}$	5,5	$\frac{8,1}{368}$	4,1	$\frac{6,4}{385}$	3,7	$\frac{4,1}{15}$	2,2	$\frac{1,7}{36}$	1
Никель, мкг/л	$\frac{6,0}{87}$	4,5	$\frac{4,5}{368}$	4,8	$\frac{4,1}{392}$	3,8	$\frac{2,4}{23}$	2,4	$\frac{1,1}{61}$	1
Цинк, мкг/л	$\frac{23}{87}$	1,8	$\frac{22}{371}$	1,7	$\frac{52}{421}$	4,0	$\frac{36}{23}$	2,8	$\frac{13}{61}$	1
Ртуть, мкг/л	$\frac{0,025}{41}$	3,5	$\frac{0,018}{182}$	2,5	$\frac{0,03}{168}$	4,2	$\frac{0,053}{4}$	7,4	$\frac{0,0072}{6}$	1
Фенолы, мкг/л	$\frac{0,9}{57}$	0,6	$\frac{0,9}{257}$	0,6	$\frac{1,6}{500}$	1,0	$\frac{4,6}{18}$	3,0	$\frac{1,55}{81}$	1
Нефтепродукты, мг/л	$\frac{0,053}{59}$	1,3	$\frac{0,049}{297}$	1,0	$\frac{0,095}{295}$	2,0	$\frac{1,0}{29}$	20,8	$\frac{0,048}{61}$	1
<i>Z_c</i>	2,4		2,9		2,5		8,5		1	

Примечание. Числитель – среднее значение; знаменатель – число проанализированных образцов; прочерк – содержание элемента не определялось.

В тундровой и таежной зонах Сибири минерализация атмосферных осадков составляет 10–15 мг/л [105, 196]. На территории Тюменской области вне зон техногенного влияния минерализация снеговых вод изменяется от 10 до 30 мг/л [75, 138]. Как свидетельствуют результаты проведенных исследований, на территории ХМАО минерализация снеговых вод в подавляющем большинстве случаев близка к фоновому уровню и не превышает 50 мг/л, т. е. воды ультрапресные. Единичные случаи возрастания минерализации до уровня 52–122 мг/л были отмечены на полигонах складирования снега населенных пунктов, а также в районе факелов сжигания попутного нефтяного газа на Когалымском месторождении. Необходимо отметить, что общая минерализация не входит в число обязательных параметров при анализе состава снеговых вод на месторождениях ХМАО [124], поэтому число определений этого показателя невелико ($n = 96$) и не охватывает в достаточной степени всех природных и техногенных ситуаций. Не обязательно также определение гидрокарбонат-иона и главных катионов, и это не позволяет классифицировать воды в соответствии с общепринятыми методиками по соотношению главных ионов. Ранее отмечалось [138], что снеговые воды на территории Тюменской области, за исключением п-ова Ямал, относятся к гидрокарбонатному классу. Содержание хлорид-ионов, как правило, значительно меньше содержания гидрокарбонатов и составляет в таежной зоне от 17 до 30 экв.% [75].

Обязательным на месторождениях ХМАО является определение в пробах снеговых вод сульфатов и хлоридов, так как они важны для индикации процессов техногенеза. Техногенные эмиссии серы при сжигании угля, нефти, газа во время движения транспорта считаются одним из основных видов воздействия человека на ландшафт [170]. Л.Е. Черняевой с соавторами [241] было отмечено двукратное увеличение содержания сульфат-иона в атмосферных осадках на территории Урала при влиянии промышленных источников. Однако на территории ХМАО выпадение сульфатов, как показал проведенный анализ, значительно слабее и вклад локальных техногенных источников невелик. Концентрация сульфат-иона в снеговых водах изменяется от нуля до 20,5 мг/л, однако в большинстве проб она не превышает 2 мг/л. Среднее значение, по данным более 1800 определений, составило 1,5 мг/л. Сопоставление с сопредельными регионами свидетельствует, что на территории ХМАО концентрация сульфат-иона в талых снеговых водах весьма низка. Так, на юге Средней Сибири результаты опробования снегового покрова выявили среднюю концентрацию SO_4^{2-} в снеговых водах на уровне 7,8 мг/л [174], в Томской области – 8,0 мг/л [191]. Крайне низким содержанием сульфатов также отличаются осадки на территории п-ова Ямал [235]. В речных водах ХМАО среднее содержание SO_4^{2-} составляет 9 мг/л [18], что значительно превышает концентрацию в снеговых водах. Этим объясняется существенное снижение содержания сульфатов в речных водах в период весеннего половодья.

Слабовысоженным содержанием сульфат-иона относительно фона (в 1,4 раза) характеризуются пригородные зоны. Формирование сернистых выпадений на урбанизированных территориях связано с эмиссиями диоксида серы, поступающими при сжигании твердого топлива. Влияние нефтегазодобычи на содержание сульфатов проявляется еще слабее. Несмотря на сведения о наличии окислов серы в выбросах факелов сжигания попутного газа [183] и о поступлении их от объектов газового комплекса [27], обработанные материалы свидетельствуют о незначительном изменении содержания SO_4^{2-} в снеговых водах на территориях месторождений. Воздействие факелов сжигания попутного газа приводит к возрастанию содержания сульфатов в 1,2 раза по сравнению с фоновыми участками, в районе кустов эксплуатационных скважин содержание SO_4^{2-} увеличивается в среднем в 1,3 раза (см. табл. 5.3). Отдельные случаи возрастания содержания сульфатов в снеге до уровня 10–15 мг/л были выявлены на Даниловском, Лазаревском, Ловинском месторождениях, расположенных в западной части ХМАО, и Варьганском месторождении (центральная часть ХМАО).

Проведенные ранее исследования состава попутного нефтяного газа на месторождениях ХМАО нацелены на анализ углеводородной составляющей [7]. Количественно содержание сернистых соединений в нем практически не определялось. Однако слабое увеличение содержания сульфатов в снеговых водах вокруг факелов сжигания попутного газа дает основание для вывода о малом содержании сернистых соединений. Это соответствует невысокому содержанию серы в добываемой на территории ХМАО нефти. По классификации технических свойств нефти (по ГОСТ Р 51858–2002), здешняя нефть относится к классу “малосернистой” при содержании массовой доли серы менее 0,6 %. В добываемой на территории округа нефти содержание серы меняется от 0,3 до 0,99 % [260] и в среднем составляет около 0,57 % [279].

Концентрация ионов Cl^- в снеговых водах редко превышает 5 мг/л, среднее арифметическое значение составило 3,4 мг/л. Низкое абсолютное содержание хлоридов и величина соотношения $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ свидетельствуют о слабом воздействии морской составляющей на формирование химических особенностей атмосферы на территории ХМАО. Устойчивое влияние акваторий на химический состав атмосферных осадков распространяется не далее 200–250 км в глубь континента [85], в то время как территория ХМАО удалена от побережья на 400 км и более. В дополнение к этому, в период исследований ветры северного и северо-западного направлений, переносящие морские воздушные массы, были довольно редки. В пределах ХМАО прослеживается возрастание содержания хлоридов с запада на восток – в снеге приуральских районов ХМАО–Югры содержание Cl^- в 1,5–2 раза ниже, чем в снеге восточного Нижневартовского района. При сопоставлении полученных значений содержания хлоридов с результатами, полученными на сопредельных территориях, становится очевидным, что для Сибири в целом характерно увеличение содержания хлоридов в снеговых водах в юго-восточном

направлении. Если на территории ХМАО преобладают концентрации 0,8–3,1 мг/л (см. табл. 5.2), то в соседней Томской области, по обобщенным данным, среднее содержание ионов Cl в снеговых водах 3,2 мг/л [191]. На юге Средней Сибири концентрация Cl еще выше и в среднем составляет 5,7 мг/л [174].

На участках разведочного бурения содержание хлоридов в снеге в 1,4 раза превышает уровень, типичный для фоновых условий, а на участках, подверженных воздействию факелов сжигания попутного газа, – в 2,5 раза (см. табл. 5.3). Однако случаи техногенного засоления с концентрацией хлоридов в снеговых водах более 50 мг/л единичны и составляют доли процента от общего числа проанализированных проб. Так, в феврале 2005 г. в пределах Варьеганского и Самотлорского месторождений зафиксированы значения 57 и 54 мг/л соответственно, в феврале 2006 г. на территории Рославльского месторождения была зафиксирована концентрация 67 мг/л. Засоление снеговых вод связано с поступлением хлоридов в нижние горизонты снега, примыкающие к поверхности загрязненной почвы. Миграция химических веществ из почвы в снег осуществляется в период весеннего прогревания за счет испарительно-конденсационного процесса, причем растворимые вещества перемещаются по жидким пленкам, покрывающим дисперсные частицы субстрата и кристаллы льда снежной толщи [79].

Содержание твердых, нерастворимых частиц в снеге зависит главным образом от поступления из локальных местных источников. Как правило, на фоновых участках содержание взвесей в снег невелико из-за слабой запыленности атмосферы в зимний период. Обычно содержание взвешенных веществ в снеговых водах составляет 2–16 мг/л. В пределах населенных пунктов количество взвесей в талой снеговой воде увеличивается на несколько порядков. Источниками поступления служат выбросы промышленных предприятий, сажа из труб печного отопления, частицы грунта, поступающие в воздух при движении транспорта. В пробах снега, отобранных на расстоянии 8–10 км от населенных пунктов, содержание взвесей в снеге соответствует фоновым показателям, что свидетельствует о незначительном радиусе выпадений твердых частиц вблизи урбанизированных территорий. На участках нефтедобычи содержание твердых примесей превышает фоновый уровень незначительно.

Реакция среды снеговых вод изменяется в широких пределах, от кислой до щелочной, наиболее часто встречаются слабокислые воды (рН = 5,0–6,0). Формирование кислых снеговых вод зафиксировано вблизи факелов сжигания попутного газа. Так, формирование вод с величиной рН = 3,3–3,4 было отмечено в марте 2006 г. в районе факельного хозяйства Первомайского месторождения и возле технологических установок отделения нефти и газа от пластовых вод на Вахском и Нижневартовском месторождениях; в марте 2008 г. подобные величины были отмечены в районе факельного хозяйства Повховского месторождения. Сдвиг в щелочной диапазон (рН = 7,9–9,2) был зафиксирован в

ряде проб, отобранных вблизи населенных пунктов и автодорог (автодорога Нижневартовск–Радужный в 2005 г., внутривидовая автодорога на Кошильском месторождении в 2007 г., полигоны складирования бытовых отходов в г. Лянтор и пос. Нижнесортимский). В пределах населенных пунктов и на полигонах складирования снега величина рН значительно выше, чем на фоновых участках и составляет 6,4–9,2 (в среднем 6,9) ед. Сдвиг реакции среды снеговых вод в щелочную сторону был ранее отмечен в Сургуте и Тюмени [138]. Таким образом, изменение кислотности осадков происходит вблизи источников атмосферных эмиссий, причем влияние промышленных объектов на величину рН неоднозначно. Вблизи факельных установок, на которых сжигают попутный нефтяной газ и некондиционные газоконденсатные смеси, происходит подкисление снега вследствие эмиссий окислов азота и серы [183, 227]. С другой стороны, возрастание выпадений крупных пылевых частиц на участках антропогенной активности приводит к подщелачиванию.

Важным индикаторным показателем антропогенного воздействия является содержание в снеговых водах соединений азота. Содержание иона NO_3^- на фоновых участках в среднем составляет 0,45 мг/л. Это значительно больше, чем на месторождениях п-ова Ямал, где содержание нитратов в снеговых водах изменяется от 0,01 до 0,37 мг/л [81]. В осадках Уральского региона средняя величина содержания нитратов оценена в 0,7 мг/л [241]. Таким образом, по уровню фоновой концентрации нитратов в атмосферных осадках территория ХМАО занимает промежуточное положение между северными малонаселенными регионами и южными, промышленно развитыми. Нитраты на нефтепромыслах образуются при сжигании попутного нефтяного газа и взаимодействии образующихся оксидов азота с атмосферными осадками [183]. Концентрация NO_3^- в снеговых водах повышается на участках разведочного бурения и в районе размещения добывающих скважин, где в среднем составляет соответственно 1,28 и 1,24 мг/л (см. табл. 5.3). Максимальные концентрации нитратов достигают 3–7 мг/л и не имеют четкой пространственной и типологической приуроченности: они выявлены на месторождениях, различающихся по географическому положению, интенсивности техногенеза, при различных типах техногенного воздействия.

В начале 1990-х гг. было выявлено, что концентрация ионов аммония в снеговых водах на территории Тюменской области варьирует в пределах 0,2–1,1 мг/л [138]. Согласно результатам текущих мониторинговых работ, концентрация ионов аммония в снеговых водах ХМАО изменяется более значительно: от 0,02 до 2,7 мг/л. Наиболее типичны величины 0,1–0,4 мг/л. На нефтяных месторождениях содержание аммонийного азота близко к фоновому уровню, однако в населенных пунктах наблюдается значительное увеличение концентраций. Так, на полигонах складирования снега среднее содержание иона NH_4^+ превышает фоновые величины в 4,5 раза (см. табл. 5.3).

Сопоставление полученных значений с данными по сопредельным регионам затруднено из-за большого разброса оценок регионального фона, выполненных различными авторами. Так, для юга Средней Сибири среднее содержание аммонийного азота в снеговых водах оценено на уровне 0,098 мг/л [174], в Прибайкалье – 0,7–1,6 мг/л [159], а в центре Восточно-Европейской равнины (Верхнеокский бассейн) – 1,33 мг/л [63].

Известно, что над месторождениями нефти формируются газовые ореолы рассеяния за счет вертикальной миграции метана и тяжелых углеводородов, которые частично аккумулируются в снеге [5, 44]. Роль снегового покрова как объекта, депонирующего природные и техногенные потоки нефтяных углеводородов, очевидна. Так, изучение состава снега Песчаного нефтяного месторождения по мере его эксплуатации выявило увеличение среднего содержания НУВ с 0,04 до 0,12 мг/л [55]. Однако необходимо упомянуть, что в зимний период содержание НУВ в атмосфере нефтедобывающих территорий снижается за счет “выключения” такого мощного источника загрязнения, как испарение пролитых на рельеф местности нефти и нефтепродуктов [8].

Выполненная нами обработка данных мониторинга свидетельствует, что на месторождениях ХМАО содержание НУВ в снеговых водах, как правило, составляет сотые доли миллиграмма на литр и не превышает ПДК для поверхностных вод. Пробы снега с аномально высокими концентрациями НУВ (больше 1 мг/л) в сумме составляют около 1 % от общего числа проанализированных (рис. 5.2). Аномально высокое содержание было зафиксировано на нескольких месторождениях (Самотлорское, Ван-Еганское, Ватлорское, Приразломное) и связано с техногенными разливами.

Наибольшее загрязнение нефтяными углеводородами выявлено в населенных пунктах, где концентрация выше фоновых показателей на один-два порядка и в среднем составляет 1,0 мг/л (см. табл. 5.3). Довольно существенное влияние оказывает сжигание нефтяного газа в факелах, которое вызывает двукратное возрастание концентрации НУВ

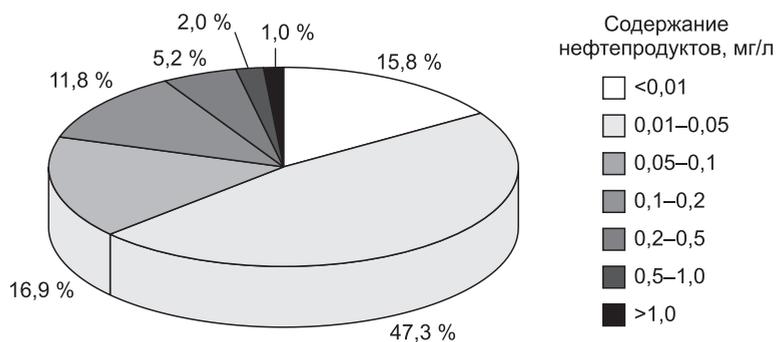


Рис. 5.2. Процентное распределение содержания нефтяных углеводородов в снеговых водах на участках распределенного фонда недр ХМАО–Югры

по сравнению с фоновыми участками. Среднее содержание в снеге под влиянием разведочного бурения увеличивается незначительно (в 1,3 раза). На участках размещения эксплуатационных скважин загрязнение снега НУВ не характерно.

Большой интерес представляет анализ содержания в снеге элементов-индикаторов влияния буровых работ (Ni, Fe) и сжигания жидкого топлива (Cu, Ni, Zn) [281]. По результатам мониторинга выявлено, что наибольшим превышением концентрации в пределах месторождений над фоновыми показателями характеризуются никель, хром, медь, ртуть, цинк (см. табл. 5.3).

Фоновые концентрации никеля в атмосферных осадках составляют около 0,1 мкг/л [170]. Анализ литературных источников [264, 272, 281] свидетельствует, что подобный уровень характерен для снега незагрязненных территорий Арктики, однако на Урале содержание никеля в атмосферных осадках значительно выше и меняется в диапазоне от 0,2 до 0,8 мкг/л [241]. В приполярных районах Средней Сибири и центральной Якутии содержание никеля составляет в снеговых водах 0,76 и 1,5 мкг/л соответственно [118].

По данным исследования состава нефтей Ханты-Мансийского округа, никель (наряду с ванадием) доминирует в микроэлементном составе [248]. Атмосферные аэрозоли, образующиеся при сжигании нефти, содержат повышенное количество никеля [277]. Вероятно, влияние локальных техногенных источников (сжигание попутного нефтяного газа, выжигание нефтяных разливов) приводит к возрастанию содержания Ni в атмосферных осадках. Если средняя концентрация Ni на фоновых участках составила 1,1 мкг/л, то для нефтяных месторождений типичен уровень 2–6 мкг/л. Характерно, что максимальные концентрации характерны для снега в районе разведочных буровых, что соответствует уровню содержания нефтяных углеводородов (см. табл. 5.3). Спорадически отмечаются случаи превышения фоновых показателей в 10–100 раз.

Цинк занимает одно из первых мест по контрастности в твердофазных выпадениях [54]. Являясь весьма подвижным микроэлементом, цинк характеризуется широким диапазоном варьирования концентраций в снеге на территории ХМАО (см. табл. 5.2). Наиболее часто встречаются концентрации от 10 до 30 мкг/л. На фоновых территориях средняя концентрация составила 13 мкг/л, на месторождениях атмосферные выпадения этого элемента значительно выше, особенно в районе факелов сжигания. Здесь содержание цинка превышает фоновые параметры в 4 раза (см. табл. 5.3). Ранее отмечалось, что в пределах населенных пунктов Тюменской области концентрация цинка достигает 81 мкг/л [138]. Таким образом, цинк является весьма информативным элементом при индикации техногенеза.

В последние десятилетия наблюдается рост содержания ртути в окружающей среде Арктики [259]. Для ртути характерна значительная пространственная и сезонная динамика. Отмечалось, что в течение

зимнего периода содержание ртути в снеге увеличивается от 0,001 до 0,06 мкг/л, в отдельных случаях до 0,18 мкг/л [270]. На Аляске отмечено увеличение содержания ртути в снеге от <0,01 мкг/л в январе до 0,095 мкг/л в мае [267]. Содержание ртути в снеговых водах полярных и приполярных районов значительно варьирует даже вне зоны антропогенных эмиссий. Так, фоновые показатели содержания этого элемента в снеговых водах оцениваются на уровне 0,0042 мкг/л [281], 0,001–0,09 [267], 0,025–0,16 [270], 0,01–0,07 мкг/л [73]. На территории ХМАО среднее содержание Hg, согласно проведенному обобщению, составляет в среднем 0,036 мкг/л, что при сопоставлении с приводимыми ранее фоновыми показателями близко к среднему уровню. Наблюдаются значительные различия между фоновыми участками (средняя концентрация 0,0072 мкг/л) и участками техногенеза. Так, в 3,5 раза увеличивается содержание Hg на участках разведочного бурения, в 4,2 раза – возле факелов сжигания попутного газа. Наиболее сильно загрязнение ртутью выражено на полигонах складирования снега с территорий населенных пунктов, где содержание этого токсичного элемента превышает фоновый уровень в 7,4 раза (см. табл. 5.3).

Железо поступает в атмосферные аэрозоли главным образом из природных источников – горных пород и почв. Тем не менее иногда железо рассматривают в качестве технофильного элемента. К примеру, при анализе загрязнения снежного покрова нефтяных месторождений Аляски железо отнесено к категории элементов, поступающих в снег при буровых работах [281]. Данные о среднем уровне содержания железа в снеговом покрове таежной зоны Западной Сибири весьма разноречивы: от 40 [117] до 200–330 мкг/л [75]. По данным мониторинга, среднее содержание железа в снеговых осадках на территории ХМАО составляет 110 мкг/л. Фоновая концентрация (64 мкг/л) меньше в 1,7 раза и соответствует уровню, типичному для Арктики, который, по данным Э. Снайдер-Конн с соавторами [281], составляет 3–76 мкг/л. На нефтяных месторождениях ХМАО влияние техногенных источников вызывает существенное, иногда на два-три порядка, увеличение содержания железа в снеге, что связано с поступлением в снег примесей – частиц минерального грунта с последующим перемещением водорастворимых компонентов в талые воды.

Концентрация свинца в пробах снеговых вод изменяется от 0,25 до 1,2 мкг/л. Выявленные величины весьма малы по сравнению с приводимыми в литературных источниках данными о составе снега сопредельных регионов. Известно, что в атмосферных осадках Восточной Европы и Сибири содержание свинца на фоновых территориях оценивается в 1–10 мкг/л [170]. В осадках Уральского региона содержание свинца изменяется в пределах 0,2–20 мкг/л [241]. Для п-ова Ямал (Бованенковское месторождение) выявленные концентрации свинца в снеге варьируют в пределах 1,3–2,3 мкг/л [81]. Низкие концентрации свинца связаны с малой интенсивностью водной миграции этого элемента и отсутствием более-менее значимых источников техногенных эмиссий

этого элемента в районах отбора проб. Тот факт, что во всех проанализированных пробах концентрация свинца была, как правило, ниже, чем в снеге сопредельных территорий, дает основание для констатации факта малого количества атмосферных выпадений этого элемента.

Анализ атмосферных поступлений марганца, в том числе с осадками во время холодного периода, во многом помогает уяснить показатели миграции этого элемента в геосистемах. Известно, что в поверхностных водах ХМАО средняя концентрация марганца составляет 230 мкг/л [18], что связано с высокой миграционной активностью элемента в кислых болотных водах. Содержание в атмосферных осадках значительно ниже – в таежной зоне на территории Тюменской области концентрация Mn в снеге оценена на уровне 7–40,5 мкг/л [75].

По данным мониторинга, выполняемого недропользователями на месторождениях ХМАО–Югры, содержание марганца в снеговых водах изменяется от 3,3 до 24,1 мкг/л. Таким образом, в снеге концентрация марганца на порядок ниже, чем в речных водах. Значительное варьирование концентрации марганца, как и железа, дает основание для вывода о влиянии местных пылевых поступлений на состав снеговых вод. По сравнению с фоновыми территориями концентрация марганца повышена на участках техногенеза в среднем в 1,5–1,7 раза. Наиболее интенсивные поступления марганца отмечены в бассейне р. Тромъеган и приурочены к Тевлинско-Русскинскому и Родниковому месторождениям. Также относительно среднего фона повышены концентрации в юго-западной части округа. Наблюдается высокое сходство в распределении марганца и сульфатов, что дает основания для вывода о преобладании сульфатной формы нахождения этого элемента в снеге.

В ряде зарубежных работ хром рассматривается как индикатор поступления в окружающую среду буровых растворов [281, 283]. Нефтяные разливы могут вызывать резкое увеличение концентрации хрома в загрязненных почвах [265]. Полученные в ходе мониторинговых работ результаты свидетельствуют, что содержание хрома изменяется в очень широких пределах, наиболее характерный диапазон 1–10 мкг/л (см. табл. 5.2). Это соответствует данным С.А. Дорожкуевой [75], согласно которым в различных природных зонах Тюменской области концентрация хрома в снеговых водах составляет 4,7–7,8 мг/л. На нефтяных месторождениях наблюдается увеличение содержания хрома в 3,8–4,5 раза по сравнению с фоновыми показателями, что говорит о влиянии техногенных источников. Также отмечено существенное возрастание концентрации меди в снеге, отобранном возле эксплуатационных скважин, и ртути в снеге населенных пунктов.

Для выявления закономерностей формирования химического состава атмосферных выпадений на территории таежной зоны Западной Сибири был выполнен факторный анализ всей совокупности данных. Факторный анализ – это один из методов идентификации источников формирования химического состава компонентов природной среды [76]. Сущность факторного анализа состоит в “свертывании” многоком-

понентного массива данных до ограниченного, выбранного пользователем числа факторов, определяющих дисперсию выборки. Факторный анализ в применении к геохимическим данным позволяет устанавливать зависимости между различными компонентами водных геосистем (в том числе между живым и косным), учитывать совокупное действие многих факторов, ранжировать установленные зависимости по величине собственных критериев значимости, проводить контекстный анализ, т. е. разбивать исследуемый массив данных на части. Был использован R-метод главных компонент с варимаксным вращением корреляционной матрицы. При анализе нами были выделены пять основных факторов, определяющих закономерности формирования химического состава (табл. 5.4). Следует отметить, что отсутствие среди определяемых компонентов химического состава большинства главных ионов и преимущественный отбор проб на участках техногенеза не позволяют выявить комплексные природно-техногенные закономерности формирования химического состава снегового покрова, а только дают основание для группировки веществ по источникам и силе техногенного влияния.

Таблица 5.4

Результаты факторного анализа массива гидрохимических данных (метод главных компонент)

Показатель	Факторные нагрузки				
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4	Фактор 5
pH	-0,02	-0,14	0,46	0,70	0,01
NH ₄	-0,01	-0,16	0,11	0,00	-0,48
NO ₃	0,00	-0,01	-0,88	-0,04	0,04
Fe	0,88	0,00	0,01	0,02	0,00
Марганец	0,94	0,00	0,00	0,01	0,00
Медь	0,00	0,13	-0,11	0,01	-0,87
Нефтепродукты	-0,01	-0,75	-0,07	-0,05	-0,02
Никель	0,96	0,01	0,00	-0,01	0,00
Ртуть	0,01	0,23	0,10	0,33	-0,03
Свинец	0,93	0,02	0,00	-0,04	0,00
Сульфаты	-0,02	-0,13	-0,40	0,78	0,01
Фенол	0,93	0,00	-0,01	0,00	0,00
Хлориды	0,00	-0,73	0,09	0,08	-0,07
Хром	0,98	0,01	-0,01	-0,02	0,00
Цинк	0,96	0,01	0,01	0,00	0,00
Вклад фактора в общую дисперсию	6,19	1,23	1,19	1,21	1,00
Доля дисперсий главных компонент, %	41,0	9,0	8,0	8,0	7,0

Примечание. Выделены статистически достоверные величины.

Установлено, что пять факторов ответственны за 73 % дисперсии. Первый фактор объединяет большинство микроэлементов (Mn, Ni, Pb, Cr, Zn), а также фенолы и железо. Это дает основания интерпретировать первый фактор как зависящий от влияния пород и почв, которые определяют состав крупных аэрозольных частиц. Второй по силе фактор объединяет приоритетные загрязнители нефтедобывающего комплекса – нефтепродукты и хлориды, что связывает его с поступлениями от локальных источников на месторождениях нефти. Третий фактор определяется поступлением нитратов, что также свидетельствует о его антропогенно-техногенной природе (влияние жизнедеятельности населения и факелов сжигания нефтяного газа). Четвертый фактор, объединяющий величину pH и SO_4^{2-} , является фактором подкисления и также зависит от сжигания попутного нефтяного газа. Пятый фактор с доминированием меди также оценивается как породный.

Рассчитанные величины суммарного показателя загрязнения Z_c (см. табл. 5.3) в среднем изменяются от 2,4 (участки разведочного бурения) до 8,5 (участки складирования снега, вывезенного с территории населенных пунктов). Таким образом, согласно шкале оценки аэрогенных очагов загрязнения [54] на территории ХМАО преобладает низкий уровень загрязнения атмосферы.

Анализ погодичной динамики (табл. 5.5) свидетельствует, что содержание нитратов, аммонийного азота на месторождениях округа довольно стабильно. Содержание хлоридов на участках распределенного фонда недр ХМАО–Югры имеет тенденцию к снижению, в 2010–2011 гг. средние концентрации меньше, чем в 2006–2009 гг., также наблюдается постепенное снижение среднегодовых концентраций.

Таким образом, твердые осадки, поступающие в зимний период на территорию ХМАО, характеризуются малой минерализацией, слабощелочной либо нейтральной реакцией и содержат незначительное количество твердых примесей. Уровень содержания сульфатов приблизительно вдвое меньше, чем на территории промышленных районов Урала. Содержание нитратного азота в снеговых водах на участках нефтепромыслов превышает фоновые показатели в 2,8–3 раза, в то время как содержание аммонийного азота слабо зависит от техногенных факторов. В пределах месторождений наблюдается незначительное увеличение концентрации нефтепродуктов. Наибольшее влияние на содержание нефтяных углеводородов в снеговых водах оказывают факелы сжигания попутного газа, где наблюдается рост концентраций в 2 раза. На участках нефтедобычи выражен рост концентраций ряда тяжелых металлов. Элементами-индикаторами воздействия факелов сжигания попутного нефтяного газа являются цинк и ртуть, содержание которых увеличивается в среднем в 4 и 4,2 раза соответственно, на участках разведочного бурения увеличивается в 4,5 раза содержание хрома и никеля.

Таблица 5.5

**Состав снеговых вод на участках распределенного фонда недр
ХМАО–Югры, мг/л**

Параметр	Показатель	2006	2007	2008	2009	2010
pH	<i>n</i>	384	917	1070	894	819
	<i>M</i>	5,5	5,37	5,24	5,23	5,26
	<i>Me</i>	5,5	5,26	5	5,1	5,03
NH ₄	<i>n</i>	423	986	950	878	820
	<i>M</i>	0,33	0,27	0,21	0,22	0,27
	<i>Me</i>	0,25	0,15	0,15	0,13	0,15
Нитраты	<i>n</i>	351	911	1009	894	820
	<i>M</i>	1,24	1,29	1,22	1,18	1,12
	<i>Me</i>	1,24	1,27	1,27	1,20	1,15
Нефтепродукты	<i>n</i>	436	966	1067	893	832
	<i>M</i>	0,12	0,07	0,07	0,07	0,05
	<i>Me</i>	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04
Хлориды	<i>n</i>	398	909	1070	895	822
	<i>M</i>	3,4	3,38	2,09	1,82	1,74
	<i>Me</i>	1,9	1,2	1,5	1	0,78
Сульфаты	<i>n</i>	434	950	1068	893	807
	<i>M</i>	1,6	1,42	1,41	2,32	1,21
	<i>Me</i>	1	1	0,79	0,61	0,7
Fe	<i>n</i>	349	980	1050	853	822
	<i>M</i>	0,122	0,09	0,84	0,08	0,064
	<i>Me</i>	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05
Mn	<i>n</i>	378	838	1043	865	822
	<i>M</i>	0,016	0,03	0,06	0,01	0,007
	<i>Me</i>	0,01	0,005	0,005	0,005	0,005
Zn	<i>n</i>	432	863	1045	879	822
	<i>M</i>	0,027	0,02	0,1	0,02	0,014
	<i>Me</i>	0,023	0,01	0,014	0,01	0,008
Ni	<i>n</i>	409	727	1091	878	826
	<i>M</i>	0,007	0,003	0,01	0,004	0,0029
	<i>Me</i>	0,005	0,0025	0,0024	0,0025	0,0025
Pb	<i>n</i>	408	733	1093	878	822
	<i>M</i>	0,02	0,01	0,02	0,005	0,0028
	<i>Me</i>	0,025	0,0065	0,0025	0,0025	0,0025
Cr	<i>n</i>	389	726	1079	878	829
	<i>M</i>	0,008	0,006	0,01	0,003	0,0046
	<i>Me</i>	0,01	0,005	0,001	0,001	0,001

5.2. Состав гидросферы как отражение техногенеза

5.2.1. Основные закономерности формирования состава поверхностных вод

Общеизвестно, что химический состав природных вод является индикатором состояния геосистем прилегающего водосборного бассейна. При ландшафтно-геохимических исследованиях вода рассматривается как один из основных блоков, через который проходят потоки вещества [204]. Это определяет значимость гидрохимических исследований при региональном эколого-геохимическом анализе. Изучение состава вод Оби и других рек Западной Сибири было предметом ряда обобщающих работ экологической направленности [115, 189, 222], убедительно показав эффективность подобного подхода. Влияние техногенеза на состав поверхностных вод севера Западной Сибири прослеживается по нескольким показателям: наблюдаются повышение минерализации поверхностных вод с момента начала эксплуатации месторождений и хроническое загрязнение нефтепродуктами [133, 229, 231], существует зависимость между содержанием нефтепродуктов в речных водах и показателями аварийности на объектах нефтедобычи [141, 213], а также зависимость между содержанием нефтепродуктов в донных отложениях и числом аварий в пределах месторождений [29]. Влияние промышленных и бытовых сточных вод месторождений на химический состав воды рек выражается также в возрастании окисляемости, увеличении содержания азота, железа, сульфатов, фенолов, СПАВ [130]. В настоящее время, в соответствии с законодательно утвержденными нормами недропользования, на месторождениях ХМАО практически повсеместно проводится мониторинг состояния окружающей природной среды, в том числе и мониторинг поверхностных вод. Это позволяет оценить современное состояние экосистем и прогнозировать экологические последствия нефтедобычи.

Широкий спектр загрязняющих веществ и разнообразие форм техногенных преобразований ландшафтно-геохимических комплексов ставят задачу выявления показателей, обладающих наибольшими индикаторными свойствами. Нормативная база гидрохимического мониторинга на территории ХМАО [124] предусматривает контроль содержания многочисленных компонентов химического состава. Однако априори ясно, что не все из них равнозначны для оценки экологической ситуации и выявления тенденций эколого-геохимических процессов.

Чтобы определить вещества, обладающие индикаторными функциями в полной мере, нами была проанализирована зависимость между гидрохимическими показателями (ионный состав, газовый режим, содержание нефтепродуктов, соединений азота, тяжелых металлов, СПАВ и др.) и параметрами, характеризующими интенсивность техногенного воздействия (общее количество пробуренных скважин, протяженность трубопроводов, количество шламовых амбаров, объем отходов бурения, количество аварий с экологическими последствиями, общее количество

загрязняющих веществ, общая площадь загрязнения в пределах месторождения). При вычислениях использовались данные о количестве техногенных объектов и показателях аварийности и результаты ведомственного гидрохимического мониторинга, представляемые недропользователями в рамках ежегодной отчетности. Поскольку показатели аварийности и концентрация нефтепродуктов в речных водах не соответствовали закону нормального распределения, были вычислены коэффициенты ранговой корреляции Спирмена. Подсчеты проводились по данным 155 месторождений ХМАО. Результат оказался неожиданным: расчеты не показали существования зависимости между средним содержанием нефтепродуктов в воде рек, дренирующих территорию месторождений, и параметрами техногенного воздействия. Коэффициенты корреляции не превышали уровень достоверности (табл. 5.6). В противоположность этому существует статистически достоверная зависимость между содержанием хлоридов и параметрами техногенеза, хотя она и не имеет отчетливой выраженности. Также на крупных месторождениях с большим числом пробуренных скважин и большой протяженностью внутривнепромисловых трубопроводов статистически подтверждено снижение содержания растворенного кислорода.

Содержание остальных веществ продемонстрировало слабую зависимость между интенсивностью техногенеза и содержанием в речных

Таблица 5.6

Зависимость между гидрохимическими параметрами и факторами техногенного воздействия

Показатель	Коэффициенты ранговой корреляции		
	Хлориды (<i>n</i> = 141)	Нефте- продукты (<i>n</i> = 144)	Содержание раство- ренного кислорода (<i>n</i> = 43)
Количество скважин	0,41	0,06	-0,35
Протяженность трубопроводов	0,31	0,09	-0,31
Количество шламовых амбаров	0,07	0,14	0,13
Количество отходов	-0,05	-0,11	-0,09
Количество аварий	0,38	-0,03	-0,13
Общее количество загрязняющих веществ	0,32	-0,04	-0,18
Количество загрязняющих веществ, попавших в водоемы	0,14	0,06	-0,11
Количество загрязняющих веществ, попавших в почвы, в том числе:	0,29	-0,06	-0,14
нефтепродуктов	0,13	-0,05	-0,14
пластовых вод	0,30	-0,19	-0,08
Площадь загрязнения	0,31	-0,05	-0,08

Примечание. Выделены статистически достоверные значения при 95%-м уровне вероятности; *n* – число месторождений, по которым проведен анализ.

водах (либо ее отсутствие). Отсутствие зависимости может быть вызвано рядом причин.

- Принимаемые меры по усилению экологического контроля привели к снижению загрязнения. Производственные объекты нефтедобычи на современном этапе незначительно влияют на содержание загрязнителей, в том числе нефтяных углеводородов в составе поверхностного и внутрипочвенного стока. Содержание нефти в воде рек зависит преимущественно от факторов, не связанных с техногенезом (природное поступление углеводородов, коммунально-бытовая деятельность населения).

- Экологическая ситуация радикально не изменилась, однако аварии на трубопроводах и кустах скважин слабо затрагивают своими последствиями речную сеть, нефть локализуется в местах разливов вдали от водотоков.

- Перенос загрязнителей речными водами на сопредельные участки искажает картину взаимосвязи источников загрязнения и гидрохимических показателей. В силу этого корректное сопоставление гидрохимических показателей и факторов техногенеза требует применения сложных моделей миграции отдельных веществ в пределах бассейна стока.

Чтобы выяснить, какие из вышеперечисленных причин играют наибольшую роль, проанализируем ряды гидрохимических параметров, полученные для различных водных объектов – как на участках нефтедобычи, так и на сопредельных территориях.

Одним из традиционных методологических приемов анализа, заимствованным из кибернетики, является сопоставление параметров на входе и выходе “черного ящика”. Применительно к эколого-гидрохимическим исследованиям метод предусматривает анализ концентраций индикаторных веществ-загрязнителей в главном водотоке на входе и на выходе его с территории месторождения. Подобный принцип широко используется при построении сети мониторинговых наблюдений на месторождениях ХМАО, поскольку позволяет оптимизировать программу работ и сократить затраты на исследования. Рассмотрим ряд примеров, характеризующих содержание основных загрязнителей в воде рек, руководствуясь описанным принципом.

Одним из наиболее репрезентативных примеров в этом отношении может считаться территория Варьеганского месторождения (Нижневартовский район ХМАО, Аганский ландшафтно-геохимический округ), в пределах которого длительное время проводятся мониторинговые исследования состава воды р. Аган с ежемесячным отбором проб. Результаты обобщения за 15-летний период свидетельствуют, что практически отсутствуют различия между среднегодовыми концентрациями нефтепродуктов на входе и на выходе с месторождения (рис. 5.3). Содержание хлоридов, напротив, отчетливо различается: в каждый год средняя концентрация хлоридов в выходящем створе была выше, чем на входе, причем в 1997–1999 гг. различия были практически двукратные. Анализ достоверности с использованием *t*-критерия Стьюдента свидетельствует, что различия в концентрациях хлоридов на входе и

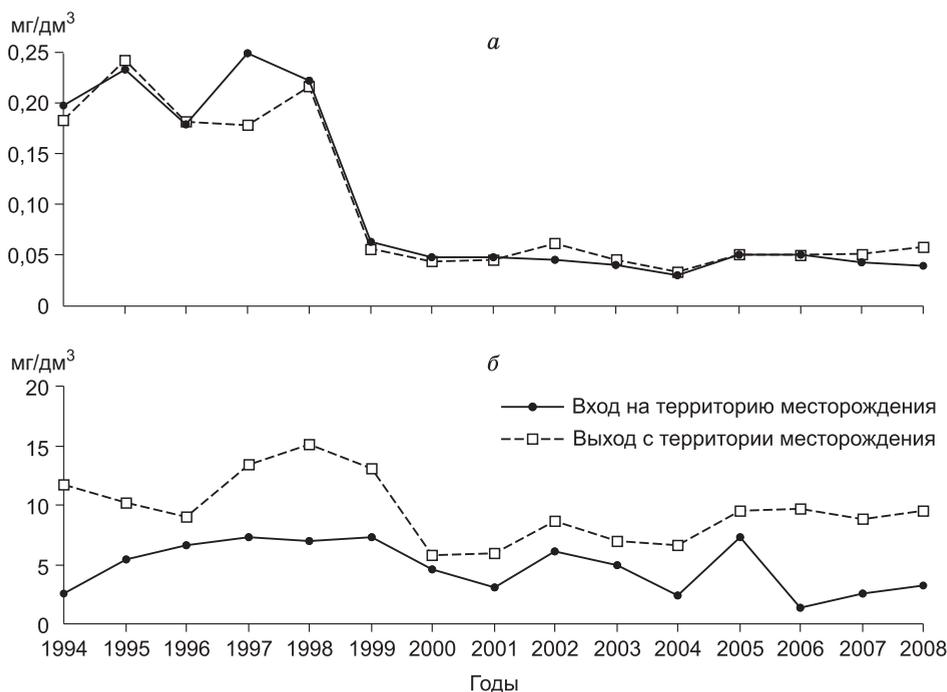


Рис. 5.3. Среднегодовые концентрации нефтепродуктов (а) и хлоридов (б) в р. Аган (Варьеганское месторождение)

выходе с месторождения статистически достоверны, по нефтепродуктам достоверных различий нет.

Наглядное подтверждение изменения состава поверхностных вод под влиянием техногенных факторов нефтедобычи дают результаты исследований, проведенных нами на территории заказника «Сургутский», расположенного в пойме Оби, в 40 км от г. Сургут, и находящегося ниже по течению Фаинского нефтяного месторождения. Для определения уровня загрязнения было проведено опробование речных вод и донных отложений как в пределах заказника, на ненарушенных участках, так и в районе кустовых площадок месторождения. Выбор точек опробования осуществлен с учетом особенностей гидрографической сети и поверхностного стока, расположения техногенных объектов. Различия в составе поверхностных вод, характеризующие особенности влияния нефтедобычи, отражены в табл. 5.7.

Как свидетельствуют данные, влияние нефтедобычи проявляется в увеличении минерализации речных вод, что подтверждает выводы о возрастании минерализации речных вод Западно-Сибирского бассейна с начала эксплуатации нефтяных месторождений [231]. Довольно значительно изменяется соотношение главных ионов, и воды гидрокарбонатного класса группы кальция переходят в воды гидрокарбонатного класса натриевой группы со значительным увеличением доли хлоридов. Концентрация нефтепродуктов увеличивается приблизительно в

Таблица 5.7

Химический состав поверхностных вод (протоки р. Обь)

Показатель	Заказник "Сургутский"	Фаинский ЛУ
рН	7,1 ± 0,2	6,8 ± 0,2
Гидрохимическая формула по Курлову	$M_{0,14} \frac{HCO_3 \ 82}{Ca \ 51 \ Mg \ 24 \ Na \ 19}$	$M_{0,24} \frac{HCO_3 \ 66 \ Cl \ 32}{Na + K \ 59 \ Ca \ 31}$
Фосфаты, мг/дм ³	0,25 ± 0,05	0,21 ± 0,04
Аммоний солевой, мг/дм ³	0,21 ± 0,07	0,84 ± 0,27
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	<1	2,2 ± 0,7
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,054 ± 0,008	0,12 ± 0,02
АПАВ, мг/дм ³	0,046 ± 0,008	0,051 ± 0,01
Fe, мг/дм ³	1,94 ± 0,3	2,2 ± 0,4
Cu, мкг/дм ³	6,0 ± 1,3	9,0 ± 1,5
Zn, мкг/дм ³	22,0 ± 7,3	57,2 ± 28,1

1,5 раза по мере пересечения территории месторождения, также увеличивается содержание аммонийного азота, хлоридов, взвешенных веществ (рис. 5.4). Незначительно снижается содержание железа.

Изменение гидрохимических показателей зависит от степени техногенной трансформации ландшафтов. При относительно невысоком уровне техногенеза в бассейне реки различия между содержанием нефтепродуктов на входе и на выходе с территории месторождения невелики либо отсутствуют. В качестве примера рассмотрим содержание нефтепродуктов в воде р. Гун-Еган (левый приток р. Аган), пересекающей ряд нефтяных месторождений. В истоке, пересекающем территорию Гун-Еганского месторождения, характеризующегося невысоким уровнем техногенной нагрузки (179 пробуренных скважин), средняя за 10-летний период наблюдений концентрация нефтепродуктов в воде составила 0,065 мг/дм³, а на выходе – 0,074 мг/дм³. За период наблюдений недропользователи не зафиксировали крупных аварий, однако в ряде случаев было отмечено резкое возрастание концентраций нефтепродуктов до 0,3–0,5 мг/дм³, в то время как выше по течению концент-

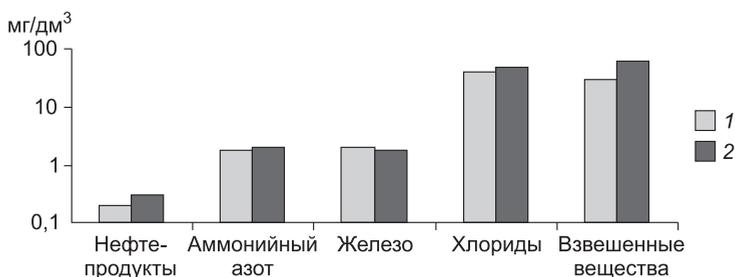


Рис. 5.4. Содержание химических веществ в водах протоки Оби:

1 – вход на территорию Фаинского месторождения; 2 – выход с территории месторождения

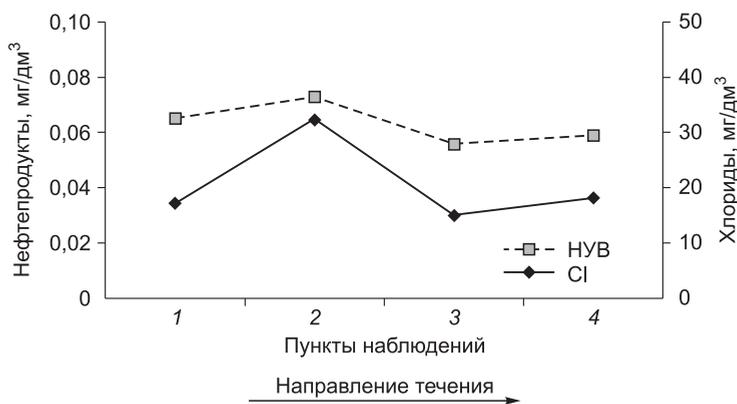


Рис. 5.5. Распределение нефтяных углеводородов и хлоридов в воде р. Гун-Еган на различных участках течения (обобщенные данные за период 1995–2005 гг.):

1 – вход на Гун-Еганское месторождение; 2 – выход с месторождения; 3 – вход на Ван-Еганское месторождение; 4 – выход с месторождения

рация составляла 0,05–0,08 мг/дм³. Ниже месторождения концентрация нефтепродуктов в воде снижается и на входе в следующее по течению Ван-Еганское месторождение она в среднем за 10-летний период наблюдений составляет менее 0,06 мг/дм³. На выходе концентрация незначительно возрастает (рис. 5.5).

Несколько более отчетливо выражена разница содержания хлоридов на входе и выходе с месторождений. Однако анализ различий с использованием *t*-критерия Стьюдента не показал достоверности в среднегодовых концентрациях загрязнителей. Таким образом, в данном водном объекте, в бассейне которого экосистемы подвергаются незначительному техногенному влиянию, различия между концентрациями на входе и выходе с территории месторождений незначительны. Техногенные изменения гидрохимических показателей проявляются в форме краткосрочных, редких всплесков концентрации нефтепродуктов и хлоридов с превышением среднего уровня в 5–8 раз, что происходит при аварийных разливах и последующей миграции загрязнителей.

Таким образом, обобщение данных за длительный ряд наблюдений для р. Гун-Еган дает картину волнообразного характера распределения хлоридов и нефтепродуктов по протяженности реки с небольшой амплитудой колебаний: незначительное повышение концентрации загрязняющих веществ по мере прохождения по территории месторождений сменяется падением до фонового уровня после прохождения участков нефтедобычи. Различия в содержании загрязнителей в пунктах мониторинга выше и ниже месторождения статистически недостоверны. Подобное распределение с невысокими абсолютными концентрациями загрязнителей, слабо превышающими фоновый уровень, в целом типично для месторождений, еще не прошедших стадию геолого-разведочных

работ, с небольшим уровнем техногенного воздействия. Для рек, протекающих по территории длительно и интенсивно разрабатываемых месторождений, распределение загрязнителей иное. В качестве примеров рассмотрим распределение средних концентраций приоритетных загрязнителей (нефтепродуктов и хлоридов) в нескольких крупнейших притоках Оби, протекающих через участки интенсивной нефтедобычи, – реках Тромъеган, Пим, Аган, Ватинский Еган.

Река Тромъеган (площадь бассейна 55,6 тыс. км²) – один из крупнейших притоков Оби в среднем течении. Для бассейна Тромъегана характерна очень высокая заболоченность (64 % площади водосбора), что в значительной степени определяет гидрохимический режим реки. Воды Тромъегана и его притоков слабокислые и нейтральные (средне значение рН = 5,9–6,6), отличаются небольшим количеством взвешенных веществ и низкой прозрачностью как результат повышенного содержания железа и растворенного органического вещества. Река пересекает ряд крупных нефтяных месторождений (Тянское, Русскинское, Тевлинско-Русскинское, Савуйское, Родниковое), на территории которых насчитывается более 4 тыс. скважин, протяженность трубопроводов превышает 3,3 тыс. км, а ежегодный объем добытой нефти составляет приблизительно 20 млн т.

При анализе распределения нефтепродуктов в р. Тромъеган обращает на себя внимание их повышенное содержание, причем концентрация возрастает по мере пересечения рекой участков нефтедобычи. Уже в истоках, на территориях Восточно-Тромъеганского и Тянского месторождений, содержание нефтепродуктов составляет 0,11–0,12 мг/дм³, более чем в 2 раза превышая ПДК рыбохозяйственных водоемов (рис. 5.6). На участке интенсивно и длительно разрабатываемых Русскинского (левый берег) и Тевлинско-Русскинского месторождений (правый берег) средняя концентрация нефтепродуктов возрастает до 0,28 мг/дм³ (5,6 ПДК_{вр}) (см. рис. 5.6). Уровень техногенного воздействия на Русскинском и Тевлинско-Русскинском месторождениях весь

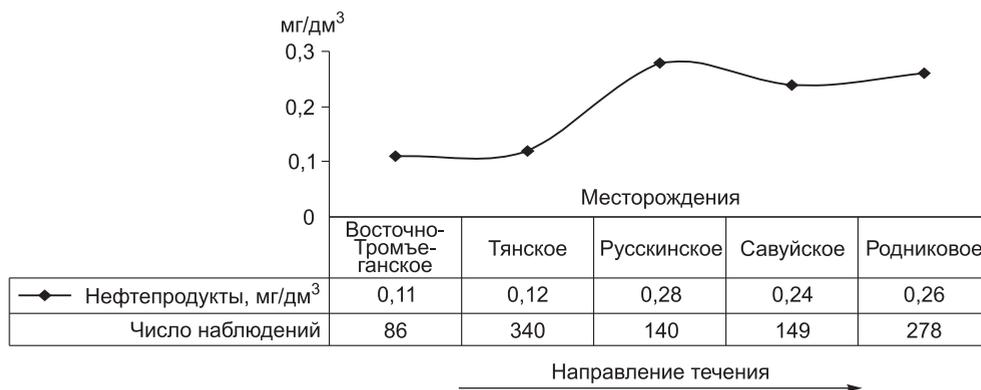


Рис. 5.6. Обобщенные за период 1995–2011 гг. средние концентрации нефтепродуктов в воде р. Тромъеган

ма высок – здесь пробурено более 1600 скважин и насчитывается несколько десятков шламовых амбаров. Снос загрязнителей ниже по течению обуславливает весьма высокий уровень содержания нефтяных углеводородов и в пределах Савуйского месторождения (в среднем $0,24 \text{ мг/дм}^3$), хотя уровень техногенного влияния здесь невысок (фонд скважин насчитывает 324 единицы).

В нижнем течении Тромъегана (Родниковое месторождение) содержание нефтепродуктов продолжает оставаться повышенным (см. рис. 5.6). Таким образом, р. Тромъеган на большей части своего течения в той или иной степени загрязнена нефтяными углеводородами.

Распределение хлоридов по длине реки прямо зависит от интенсивности техногенного влияния. Кривая, характеризующая средние концентрации хлоридов, соответствует количеству скважин на территории месторождения (рис. 5.7). При сопоставлении с химическим составом других рек можно отметить, что концентрация хлоридов в Тромъегане незначительно превышает средние для рек ХМАО показатели.

Река Пим (протяженность 390 км, площадь бассейна 12,7 тыс. км²) – один из крупнейших правых притоков Оби. Практически на всем своем течении Пим и его притоки пересекают участки нефтедобычи, причем максимальная интенсивность техногенного воздействия характерна для Лянторского месторождения (здесь насчитывается более 3600 скважин, протяженность трубопроводов составляет 3800 км). Заболоченность водосборного бассейна р. Пим исключительно высока и составляет около 80 %. Воды р. Пим отличаются низкой минерализацией, имеют малое содержание хлоридов и сульфатов. Для них характерна высокая цветность, интенсивное окрашивание вызвано большим количеством гуминовых веществ и железа.

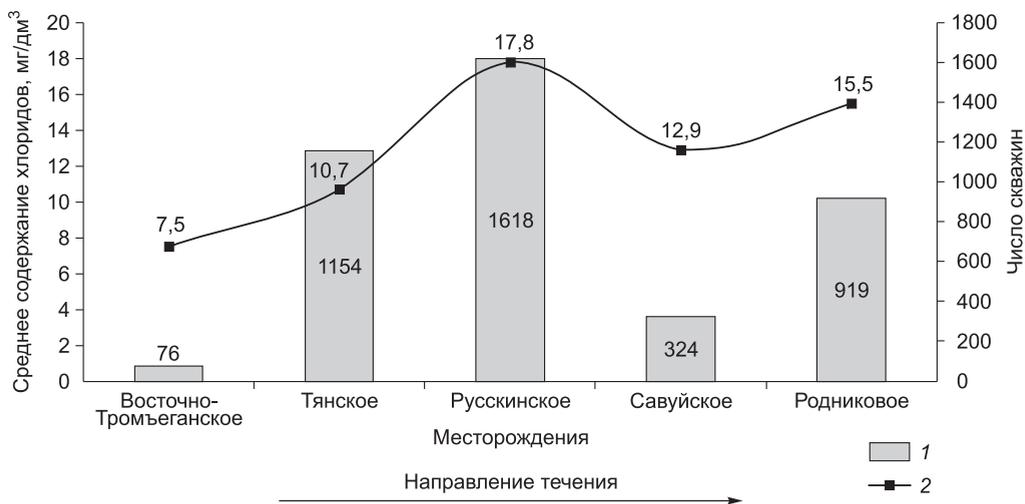


Рис. 5.7. Обобщенные за период 1995–2011 гг. концентрации хлоридов в воде р. Тромъеган:

1 – число скважин; 2 – концентрация хлоридов

Уже в верховьях Пима уровень концентрации нефтяных углеводородов повышен. При входе на Тромъеганское месторождение среднее содержание нефтепродуктов составляет $0,05\text{--}0,14\text{ мг/дм}^3$ (в среднем – $0,09\text{ мг/дм}^3$) и почти в 2 раза превышает ПДК_{вр} (рис. 5.8). Далее вниз по течению уровень нефтяного загрязнения довольно стабилен. Увеличение концентраций наблюдается на Нижнесортымском месторождении, но максимальное загрязнение характерно для Лянторского месторождения, где средняя величина содержания нефтепродуктов за весь период наблюдений составила $0,20\text{ мг/дм}^3$. Сходные значения были получены в ходе гидрохимических исследований, проведенных в летний период 2003 г., когда среднее содержание нефтепродуктов в воде Пима на территории нефтепромыслов составило $0,21\text{ мг/дм}^3$ [136].

Характерно, что содержание загрязнителей пропорционально числу пробуренных скважин (см. рис. 5.8). Кривая средних концентраций нефтепродуктов совпадает с показателями интенсивности техногенеза: наибольшие значения характерны для длительно разрабатываемых крупных месторождений. В низовьях Пима нефтяное загрязнение снижается: Тундринское месторождение, не находящееся в промышленной эксплуатации, отличается малыми концентрациями нефтепродуктов.

Таким образом, для Пима характерен повышенный уровень нефтяных углеводородов вследствие природных и техногенных факторов. При прохождении через территорию месторождений концентрация нефтепродуктов повышается, однако загрязнение не достигает низовий.

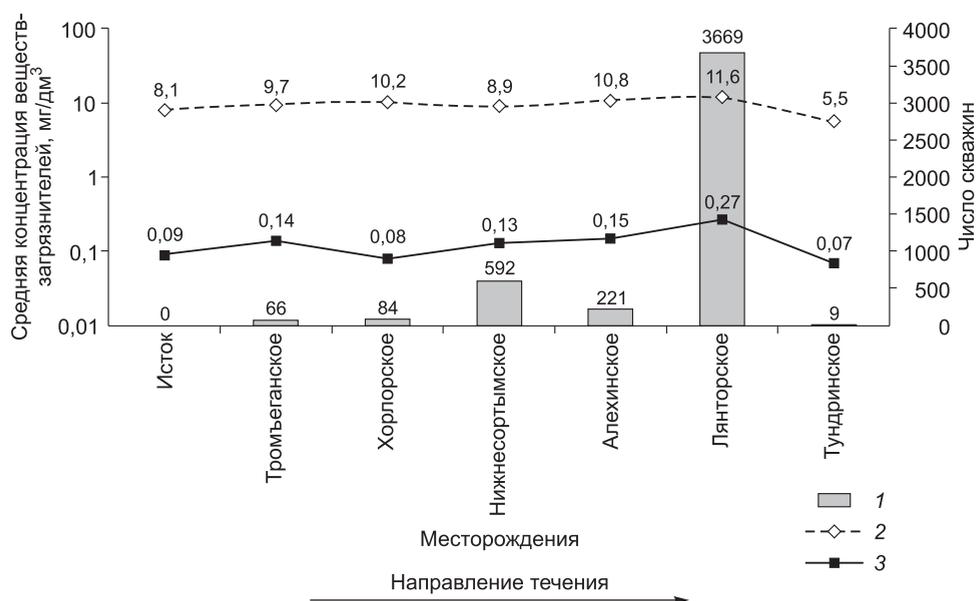


Рис. 5.8. Средние концентрации нефтепродуктов и хлоридов в воде р. Пим за период 1995–2011 гг.:

1 – число скважин; 2 – концентрация хлоридов; 3 – концентрация нефтепродуктов



Рис. 5.9. Схема размещения пунктов наблюдений в бассейне р. Аган:
1 – пункты наблюдений; 2 – обследованные месторождения

Концентрация хлоридов в воде р. Пим отличается небольшими колебаниями, максимальные концентрации хлоридов отмечены при пересечении Лянторского месторождения, т. е. также совпадает с интенсивностью техногенного воздействия (см. рис. 5.8).

Зависимость концентрации загрязнителей в воде рек от интенсивности техногенного воздействия весьма наглядно проявляется при анализе гидрохимических показателей р. Аган, являющейся одним из наиболее крупных притоков Оби в среднем течении. Река пересекает ряд нефтяных месторождений, различающихся по числу пробуренных скважин, объемам добываемой нефти, числу аварийных случаев и соответственно по интенсивности поступления веществ-загрязнителей. Расположение пунктов мониторинга, учтенных при анализе, относительно нефтяных месторождений отражено на рис. 5.9.

Наиболее интенсивное техногенное воздействие характерно для Варьеганского и Покачевского месторождений, в пределах которых насчитывается более 1000 разведочных, добывающих и нагнетательных скважин и десятки шламовых амбаров. Особенности техногенного воздействия приводят к значительным пространственным различиям в концентрации НУВ и хлоридов (табл. 5.8). В верхнем течении реки содержание нефтяных углеводородов не превышает величину ПДК_{вр} (0,05 мг/дм³), а концентрация хлоридов составляет немногим более 6 мг/дм³, что соответствует фоновому уровню, характерному для рек ХМАО вне зоны влияния объектов нефтедобычи, составляющему 4–6 мг/дм³ [141, 230]. При пересечении Варьеганского месторождения

Таблица 5.8

**Содержание НУВ и хлоридов в воде р. Аган
(усредненные данные за период 1995–2011 гг.)**

№ пунктов наблюдений (в соответствии с рис. 5.9)	Содержание НУВ, мг/дм ³	<i>n</i>	Содержание хлоридов, мг/дм ³	<i>n</i>
1	0,046	11	6,2	12
2	0,097	132	6,6	133
3	0,099	124	9,2	126
4	0,03	28	5,4	28
5	0,142	116	16,9	98
6	0,122	117	18,5	94
7	0,122	120	35,0	97
8	0,124	117	26,4	104
9	0,114	104	25,5	96
10	0,101	131	20,7	132
11	0,097	132	22,0	132

Примечание. *n* – число замеров.

концентрация нефтепродуктов увеличивается приблизительно вдвое, а концентрация хлоридов – в 1,5 раза. На территории Егурьяхского месторождения, находящегося на начальной стадии разработки и характеризующегося слабой интенсивностью техногенного воздействия, происходит возврат к фоновому уровню за счет “разбавления” незагрязненными водами. Ниже по течению, на территории Покамасовского месторождения, вследствие усиления поступления загрязнителей от многочисленных объектов нефтедобычи, средняя концентрация нефтепродуктов возрастает в 3–4 раза, а средняя концентрация хлоридов достигает 35 мг/дм³, причем в ряде случаев в период зимней межени отмечено увеличение концентрации хлоридов до 200–220 мг/дм³. По мере снижения техногенной нагрузки на территории Нивагальского месторождения постепенно снижаются концентрации как нефтепродуктов, так и хлоридов.

Анализ пространственного распределения нефтепродуктов и хлоридов в водах Агана, как и других наблюдаемых рек, свидетельствует, что концентрация загрязнителей прямо пропорциональна интенсивности техногенного воздействия, численным выражением которого можно считать количество пробуренных скважин. Месторождения, в пределах которых насчитывается более 1000 скважин (Варьеганское и Покачевское), характеризуются повышенными концентрациями НУВ и хлоридов по сравнению с месторождениями, в пределах которых число скважин исчисляется десятками и первыми сотнями (Егурьяхское и Нивагальское) (рис. 5.10).

Дренирующая территорию Самотлорского и Ватинского месторождений р. Ватинский Еган имеет протяженность 593 км, площадь бассейна 3190 км² [112] и относится к числу наиболее изученных рек, про-

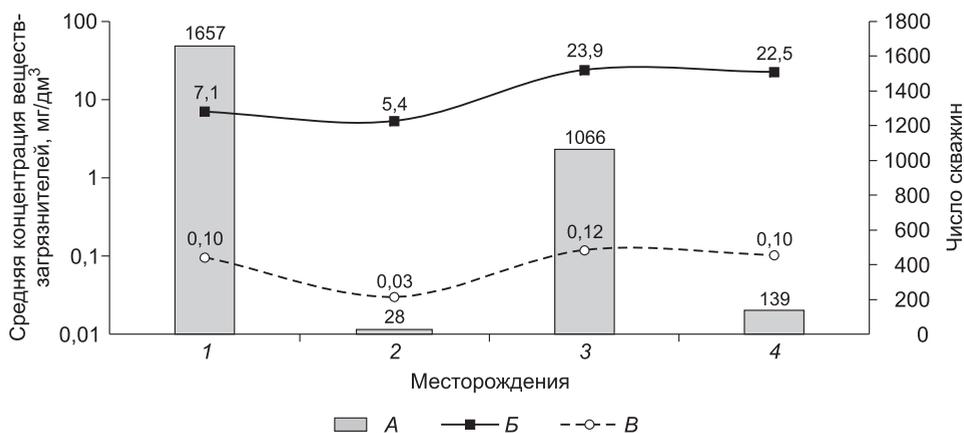


Рис. 5.10. Взаимозависимость числа пробуренных скважин (А), концентрации хлоридов (Б) и нефтепродуктов (В) в воде р. Аган:

1–4 – месторождения нефти: 1 – Варьеганское, 2 – Егурьяхское, 3 – Покачевское, 4 – Нивагальское

текающих по участкам нефтедобычи. Связано это прежде всего с резким ухудшением экологического состояния реки, вызванным активным освоением одного из крупнейших в мире Самотлорского месторождения. Особую ценность при анализе представляет комплексный характер изученности: гидрохимические данные, характеризующие содержание различных веществ и соединений, могут быть дополнены биоиндикационными показателями. В разные годы здесь была выполнена оценка качества воды и токсичности донных отложений по комплексу разнообразных гидробиологических характеристик [121, 131, 244].

Бассейн Ватинского Егана характеризуется очень высокой концентрацией техногенных объектов. Только в пределах Самотлорского месторождения насчитывается более 13 тыс. скважин, около 700 шламовых амбаров. Объем водопотребления составляет более 5200 тыс. м³, причем более половины (3600 тыс. м³) забрано из поверхностных водных источников. Главным образом вода используется для поддержания пластового давления. Нефтяное и солевое загрязнение охватывает 9,5 %, а механические нарушения – более 12 % от площади горного отвода [213].

Крайне высокая степень техногенной трансформации потребовала соответствующего числа станций гидрохимического мониторинга. В бассейне Ватинского Егана плотность их размещения очень высока – в среднем одна станция наблюдений на 10 км², причем на многих станциях отбор и анализ проб воды проводится ежемесячно. Для анализа гидрохимической ситуации в бассейне реки нами были проанализированы данные мониторинга как Ватинского Егана, так и его притоков – рек Куй-Еган, Малый Еган, Каттой-Еган, Ершовая и ряда малых водотоков. Размещение станций мониторинга, по которым проводился анализ, представлено на рис. 5.11.

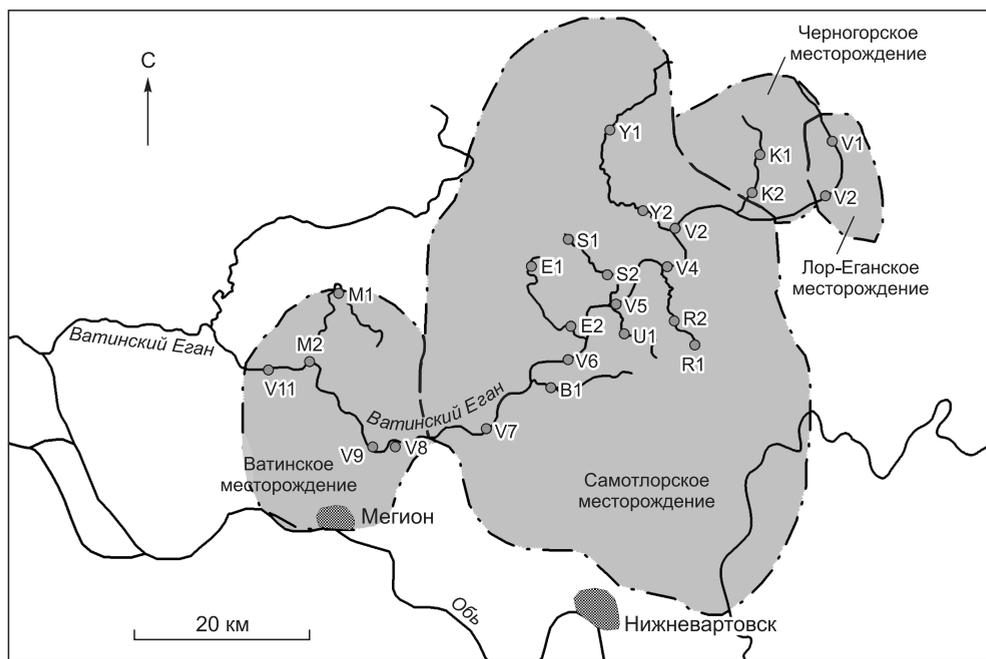


Рис. 5.11. Расположение основных станций гидрохимического мониторинга в бассейне р. Ватинский Еган

Гидрохимические показатели вод Ватинского Егана значительно меняются по мере пересечения рекой участков нефтедобычи. Довольно отчетливо можно проследить возрастание нефтяной загрязненности реки вниз по течению. В верхнем течении (район Лор-Еганского месторождения) содержание НУВ незначительно превышает ПДК. В пределах Самотлорского месторождения возрастание концентраций нефтепродуктов относительно невелико – в среднем концентрации составляют $0,08\text{--}0,12\text{ мг/дм}^3$ ($1,6\text{--}2,4$ ПДК). Повышение уровня нефтепродуктов продолжается до участка пересечения рекой Ватинского месторождения, после чего начинается падение уровня нефтяных углеводородов (рис. 5.12).

Еще более резко изменяется по течению реки содержание хлоридов. Истоки Ватинского Егана характеризуются низкой минерализацией и концентрацией ионов Cl^- . Отмечалось, что малые внутриболотные реки, формирующие сток Ваха и Ватинского Егана, отличаются крайне низкой минерализацией (меньше 50 мг/дм^3) и низким содержанием хлоридов ($1,8\text{--}14\text{ мг/дм}^3$) [23]. Таким образом, в истоках Ватинского Егана состав его вод типичен для рек таежной зоны Западной Сибири. Однако на участках нефтедобычи наблюдается значительное возрастание концентрации ионов Cl^- . В районе Лор-Еганского месторождения (пункты мониторинга V1, V2, см. рис. 5.11) содержание хлоридов значительно возрастает, приближаясь к величине 50 мг/дм^3 (см. рис. 5.12).

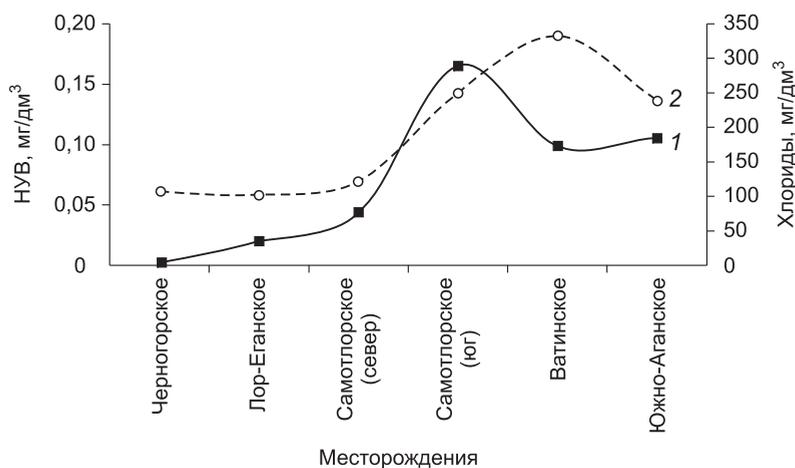


Рис. 5.12. Содержание нефтепродуктов и хлоридов в р. Ватинский Еган на различных участках (обобщенные данные 1994–2009 гг.):

1 – хлориды, 2 – нефтепродукты

Продолжается увеличение концентрации хлоридов при пересечении рекой Самотлорского месторождения (V3–V7), пик приходится на южную часть месторождения, где среднее за период исследований содержание хлоридов превышает уровень ПДК_{вр} (300 мг/дм³). Нередко отмечаются случаи, когда общая минерализация вод выше 1000 мг/дм³. Ниже по течению, после Самотлорского месторождения, содержание хлоридов в речной воде несколько уменьшается и в районе Ватинского месторождения в среднем составляет около 200 мг/дм³, после чего вновь незначительно возрастает в устье, при пересечении Южно-Аганского и Северо-Покурского месторождений. Примечательно, что концентрация хлоридов в водах Ватинского Егана находится в соответствии с показателями, характеризующими силу техногенного влияния: максимальная концентрация характерна для участков с наибольшим числом буровых скважин в центральной и южной частях Самотлорского месторождения. Однако максимальный уровень концентрации нефтепродуктов сдвинут ниже по течению, на Ватинское месторождение, где количество скважин и шламовых амбаров меньше. Это объясняет отсутствие корреляционной зависимости между показателями техногенеза и содержанием нефтяных углеводородов. Изменения содержания хлоридов как в пространстве, так и во времени достигают нескольких математических порядков. Наиболее загрязнены малые притоки Ватинского Егана в центральной части Самотлорского месторождения – реки Куй-Еган (станции мониторинга R1, R2), Ершовая (E1), ручьи Березовый (B1) и Безымянный (U1). Содержание хлоридов, превышающее 1000 мг/дм³, в них наблюдается регулярно (рис. 5.13).

Анализ гидрохимического режима свидетельствует, что содержание хлоридов зависит от расхода воды и достигает максимальных значений

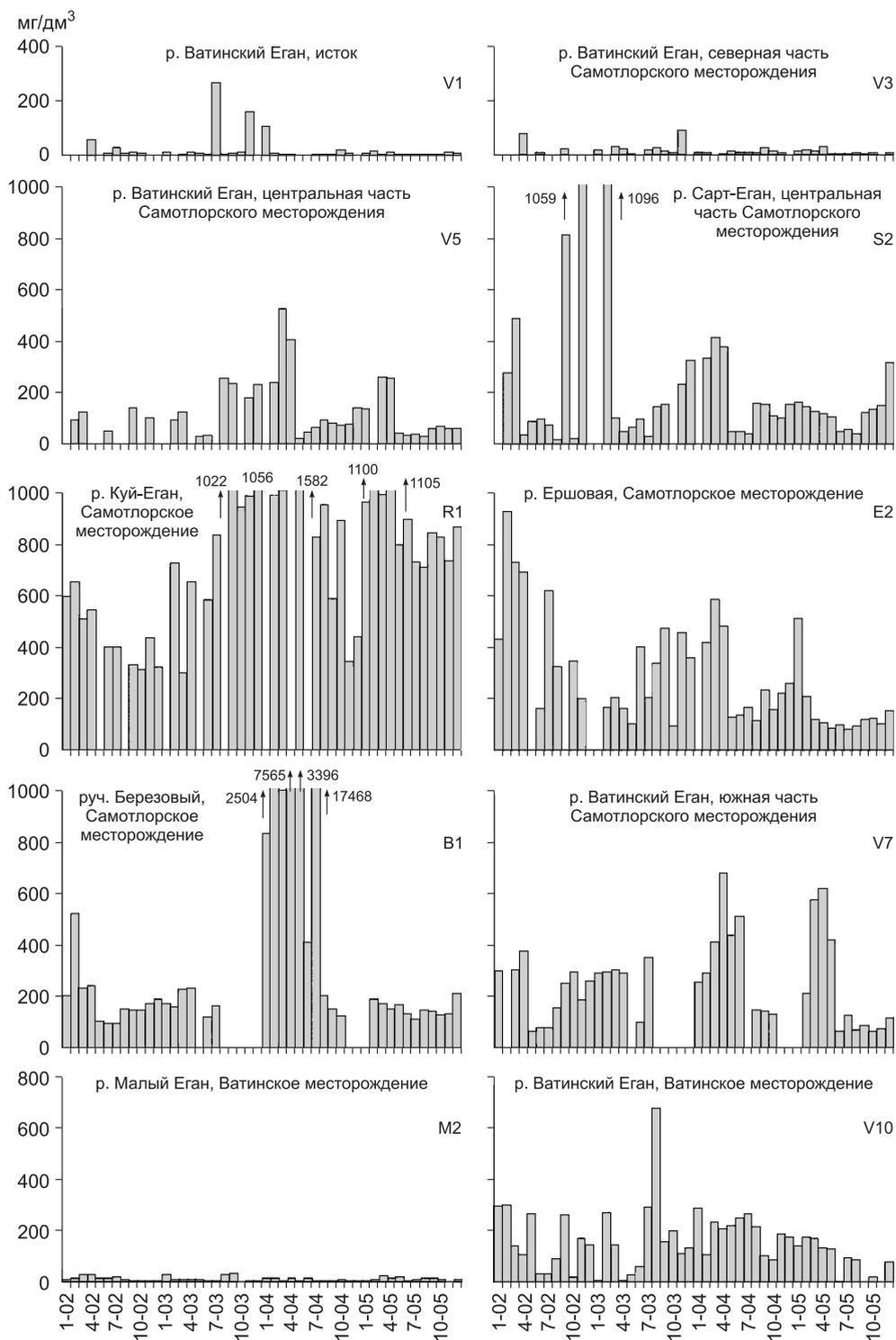


Рис. 5.13. Содержание хлоридов в различных пунктах мониторинга на р. Ватинский Еган (2002–2005 гг.)

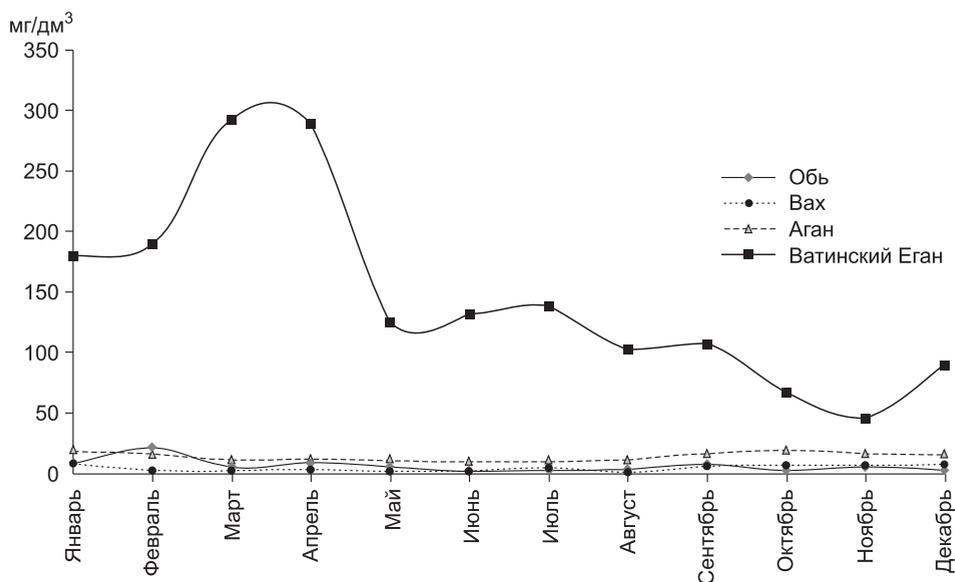


Рис. 5.14. Внутригодовая динамика концентрации хлоридов в реках (Нижневартовский район ХМАО, 2004 г.)

в периоды зимней межени (рис. 5.14). Однако даже в период весеннего половодья, когда питание осуществляется преимущественно за счет талых снеговых вод, содержание хлоридов превышает среднерегionalный уровень. К примеру, уровень концентрации Cl^- в воде Ватинского Егана в период высокого уровня загрязненности был в десятки раз выше, чем на сопредельных участках рек Обь и Аган.

Весьма примечательно, что солевое загрязнение не ограничивается только р. Ватинский Еган. Высоки концентрации хлоридов также в оз. Самотлор, где составляют $1300\text{--}2000\text{ мг/дм}^3$ [157]. Следует отметить, что в последние годы наметилась тенденция к уменьшению солевого загрязнения (табл. 5.9). Если в 1990-х гг. средние за год значения превышали 150 мг/дм^3 , то в настоящее время незначительно превышают 50 мг/дм^3 . Аномально высокие концентрации хлоридов, которые свидетельствуют о случаях интенсивного солевого загрязнения, наблюдаются значительно реже, чем ранее. В 2004 г. превышения ПДК наблюдались в 15 % проб, в 2005 и 2006 гг. – в 10 %, в 2010 г. – только в 1 %. Тем не менее среднее содержание Cl^- остается в водах Ватинского Егана выше среднерегionalного значения.

Таким образом, территория Самотлорского месторождения в гидрохимическом отношении характеризуется повышенной засоленностью поверхностных вод. По содержанию главных ионов Ватинский Еган резко отличается от других рек округа (см. рис. 5.14). Этот факт, в сопоставлении с регулярно обнаруживаемыми аномально высокими концентрациями хлоридов в р. Ватинский Еган, позволяет сделать вывод о существовании в восточной части округа техногенной гидрогеохими-

Таблица 5.9

**Содержание хлоридов и нефтяных углеводородов
в воде р. Ватинский Еган**

Год	НУВ, мг/дм ³	Число замеров	Хлориды, мг/дм ³	Число замеров
1990	0,232	32	324	28
1991	0,308	53	463	42
1992	0,189	60	611	46
1993	0,245	138	483	129
1994	0,186	111	411	104
1995	0,177	125	232	114
1996	0,134	121	269	122
1997	0,104	134	167	135
1998	0,117	134	265	133
1999	0,083	129	177	128
2000	0,093	133	193	145
2001	0,08	97	291	107
2002	0,08	85	159	98
2003	0,063	101	144	103
2004	0,061	123	157	128
2005	0,048	123	87	127
2006	0,29	82	61	113
2007	0,041	74	64	110
2008	0,039	96	62	124
2009	0,034	116	51	144
2010	0,035	125	37	149

ческой аномалии, особенностью которой является возрастание на территории нефтяных месторождений ионов Cl^- и Na^+ , и выделить Самотлорский ландшафтно-геохимический округ с преобладанием техногенной миграции веществ.

Полученная картина нефтяного и солевого загрязнения вод р. Ватинский Еган совпадает с оценкой качества вод по гидробиологическим показателям. На основании определения структуры зообентоса и зооперифитона было выявлено, что качество воды р. Ватинский Еган значительно меняется от истоков к устью. Верховья реки относительно чистые (состояние сообществ зообентоса здесь можно считать благополучным, зооценозы справляются с загрязнением, сохраняя естественную структуру, здесь обитают виды, чувствительные к загрязнению, – личинки веснянок и ручейников). На станциях среднего течения реки, расположенных на территории Самотлорского месторождения, структура сообществ зообентоса подвергается значительной трансформации. При пониженном видовом разнообразии происходит замена видов или групп-индикаторов чистых вод на толерантные к загрязнению. Класс вод по гидробиологическим показателям варьирует на разных станциях от “умеренно загрязненных” до “грязных” [121]. В нижнем течении на-

блюдается частичное восстановление естественной структуры зообентоса [244]. Класс вод по интегральному показателю зообентоса в зависимости от локальных факторов техногенного воздействия меняется: наблюдаются как “чистые”, так и “загрязненные” воды [121].

Рассматривая причины формирования гидрохимической аномалии, следует подчеркнуть, что хлориды являются одними их наиболее подвижных веществ, поступающих в окружающую природную среду при нефтедобыче. Хлориды содержатся в составе так называемых подтоварных вод, состоящих из сырой нефти и минерализованных пластовых вод. Загрязнение подтоварными водами очень часто происходит в районах нефтепромыслов в результате аварий. Высокая минерализация подтоварных вод и соответственно высокое содержание в них хлоридов определяются составом соленых и соленых вод апт-сеноманского подземного водоносного комплекса нижнего гидрогеологического этажа. Среднее содержание хлоридов в подземных водах нижнего гидрогеологического этажа Западно-Сибирской плиты составляет $9,4 \text{ г/дм}^3$ [53]. Апт-сеноманские воды по химическому составу хлоридно-натриевые с низким содержанием сульфатов, их минерализация варьирует в пределах $8\text{--}21 \text{ г/дм}^3$ [56]. Указанные величины примерно на три порядка превышают содержание хлоридов в незагрязненных поверхностных водах.

Аварии на нефтепромыслах, недостаточная гидроизоляция котлованов-отстойников и буровых площадок приводят к заметному засолению почв и грунтовых вод даже при относительно невысоких концентрациях солей в пластовых жидкостях и сточных водах [227]. Без сомнения, большое количество аварий на месторождениях в бассейне Ватинского Егана влияет на повышение минерализации речных вод.

Характерно, что гидрохимический режим реки явно свидетельствует о значительном возрастании содержания хлоридов в период зимней межени. Тот факт, что минерализация вод р. Ватинский Еган максимальна в период, когда питание реки осуществляется за счет грунтовых вод, заставляет сделать вывод, что грунтовые воды в этом районе имеют минерализацию, превосходящую обычный уровень для грунтовых и подземных вод верхнего гидрогеологического этажа Западно-Сибирского артезианского бассейна.

В результате мониторинговых работ было выявлено, что безнапорные грунтовые воды, отобранные из наблюдательных скважин в районе размещения шламовых амбаров и площадок складирования производственных отходов, отличаются высокой минерализацией ($0,5\text{--}2,5 \text{ г/дм}^3$) и преимущественно хлоридно-натриевым составом. Периодически фиксируется возрастание содержания нефтепродуктов до $1,3\text{--}2,9 \text{ мг/дм}^3$. Содержание хлоридов отличается высокой вариабельностью и меняется от 2 до 2400 мг/дм^3 (величина медианы составляет $42,9 \text{ мг/дм}^3$).

Глубокозалегающие артезианские напорные воды олигоценового водоносного комплекса и грунтовые безнапорные воды первого от поверхности водоносного горизонта значительно различаются по хими-

ческому составу. Напорные воды из артезианских скважин, как правило, имеют низкую минерализацию (от 0,2 до 0,4 г/дм³). В катионном составе кальций незначительно преобладает над магнием. Среди анионов абсолютно преобладает НСО₃⁻. В распределении хлоридов прослеживается определенная пространственная гидрохимическая закономерность. В пределах Самотлорского месторождения содержание ионов Cl⁻ находится на низком уровне и обычно не превышает 10 мг/дм³. Обследование пяти артезианских скважин в пределах соседнего Ватинского месторождения, напротив, выявило более высокую минерализацию, причем концентрация хлоридов варьировала от 21,5 до 56,5 мг/дм³. На Северо-Покурском месторождении концентрация хлоридов составляла от 30 до 33,6 мг/дм³. Таким образом, для района нижнего течения р. Ватинский Еган характерно возрастание содержания ионов Cl⁻ в пресных подземных водах. Можно констатировать, что состав пресных подземных вод в целом соответствует региональным нормам химического состава. Однако в отдельных скважинах были отмечены аномально высокие концентрации ионов Cl⁻. Применение статистического подхода (показатель нормированного отклонения) выявило, что уровень аномальных значений составляет приблизительно 200 мг/дм³. Аномальные концентрации хлоридов зафиксированы в 5 из 64 проанализированных проб (8 %).

Таким образом, на повышенное содержание хлоридов в р. Ватинский Еган влияют прежде всего поверхностные источники загрязнения.

Ретроспективный анализ имеющихся данных о составе вод р. Ватинский Еган свидетельствует, что гидрохимическая аномалия существует, по меньшей мере, на протяжении последних 30 лет. В 1975–1983 гг. концентрации хлоридов в воде Ватинского Егана в местах сброса пластовых вод составляли 340–426 мг/дм³, в низовьях концентрация падала до 85 мг/дм³ [133].

Обобщение данных мониторинговых наблюдений за длительный период с 1990 по 2010 г. свидетельствует, что воды р. Ватинский Еган стабильно являются загрязненными. Содержание нефтяных углеводородов практически постоянно превышает уровень предельно допустимых концентраций (0,05 мг/дм³). Наивысший уровень загрязнения был зафиксирован в начале 1990-х гг. (см. табл. 5.9). Тот факт, что в этот период времени уровень загрязнения был весьма высок, подтверждается и другими исследованиями. Отмечалось, что содержание нефтепродуктов в реке в начале 1990-х гг. варьировало от 0,08 до 5,14 мг/дм³, причем варибельность концентрации НУВ была связана с периодическим залповым поступлением загрязнителей в результате промышленных аварий [121]. С середины 1990-х гг. началось постепенное снижение среднегодовых концентраций нефтяных углеводородов. В настоящее время уровень нефтяного загрязнения относительно невысок и не превышает уровень, характерный для рек округа, содержание нефтепродуктов в среднем составляет 0,05–0,1 мг/дм³ (1–2 ПДК).

Падение уровня нефтяного загрязнения в последние годы подтверждается и другими данными. Проведенные в 2002–2003 гг. по инициативе окружного департамента по охране окружающей среды гидрохимические исследования выявили, что содержание нефтепродуктов в Ватинском Егане составляло в среднем 0,21 и 0,12 мг/дм³ соответственно, что не превышает обычный для округа уровень [136].

По данным более 2000 замеров почти за 20-летний период наблюдений, средняя концентрация ионов Cl⁻ превышает 100 мг/дм³, что более чем на порядок выше показателей, типичных для рек таежной зоны Западной Сибири.

Максимальные концентрации хлоридов в воде Ватинского Егана были отмечены в 1990–1994 гг. (см. табл. 5.9). Таким образом, наиболее интенсивное загрязнение происходило в тот период, когда из-за кризисного состояния государства фактически не действовали правовые и экономические механизмы, обеспечивающие экологически сбалансированное природопользование. В последние годы наметилась отчетливая тенденция к снижению солевого загрязнения реки (см. табл. 5.9). Однако концентрация хлоридов в воде Ватинского Егана и в настоящее время значительно выше, чем в других реках таежной зоны Западной Сибири.

Главной водной артерией Западной Сибири, вмещающей в себя сотни притоков, является р. Обь. В своем составе Обь отражает комплекс факторов, в том числе техногенную составляющую. Весьма показательным в этом отношении является анализ состава воды р. Обь в восточной части ХМАО, начиная от места пересечения рекой границы округа (пос. Соснино) (рис. 5.15).

Средняя концентрация нефтяных углеводородов, поступающих в составе стока при пересечении границы с Томской областью, относительно невысока и находится на уровне ПДК (0,05 мг/дм³). Ниже по течению, в районе Советского месторождения, и до впадения в р. Вах (район Нижневартовского месторождения) уровень нефтяных углеводородов остается стабильным (рис. 5.16). Интенсивность техногенного влияния на Советском месторождении следует оценить как среднюю (количество скважин 705, протяженность трубопроводов около 900 км, водопотребление ведется из подземных источников, сброс в поверхностные водные объекты практически отсутствует). Объем буровых работ и добычи нефти на Нижневартовском месторождении значительно меньше. Таким образом, стабильное содержание нефтепродуктов в Оби на этом отрезке соответствует незначительной степени техногенного влияния.

После впадения р. Вах и пересечения створа в районе г. Нижневартовск (район Ермаковского месторождения) происходит незначительное увеличение концентрации нефтепродуктов, которое в районе Ватинского месторождения, ниже г. Мегион, сменяется резким, практически двукратным, увеличением средних концентраций до уровня 0,12 мг/дм³. Постепенный рост концентрации нефтепродуктов отмечается и ниже по течению Оби. Внутригодовая динамика в створе Ватинского место-

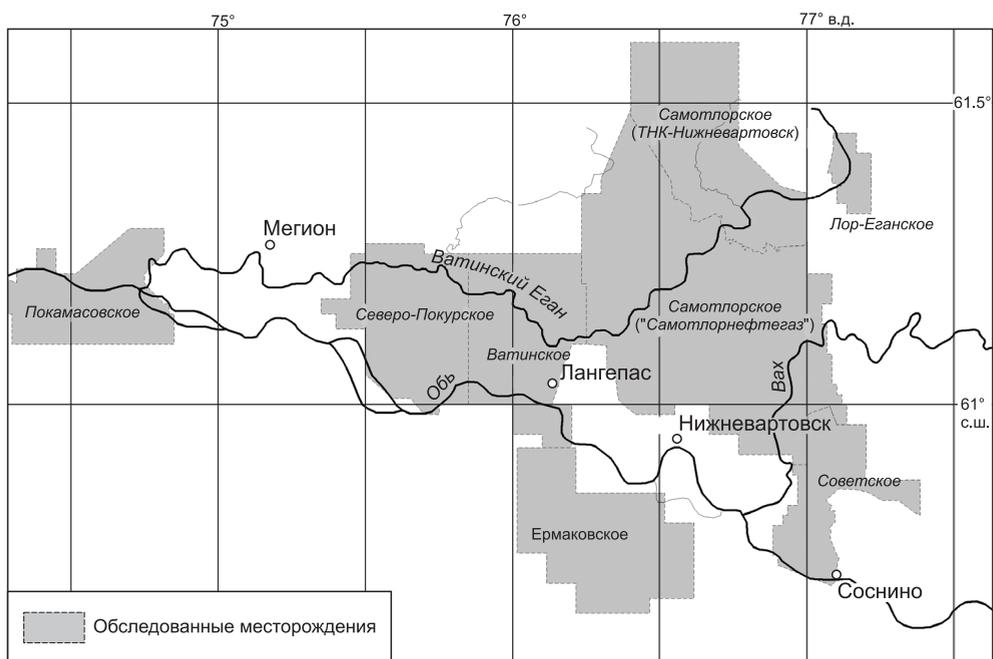


Рис. 5.15. Схема района гидрохимических исследований, бассейн рек Ватинский Еган и Обь в пределах ХМАО (восточная часть)

рождения свидетельствует, что концентрации отличаются нестабильностью и варьируют в пределах 0,05–0,34 мг/дм³. Полученные данные соответствуют результатам предшествующих работ. Отмечалось, что концентрация нефтепродуктов в протоках Оби – Мега и Пасол в районе

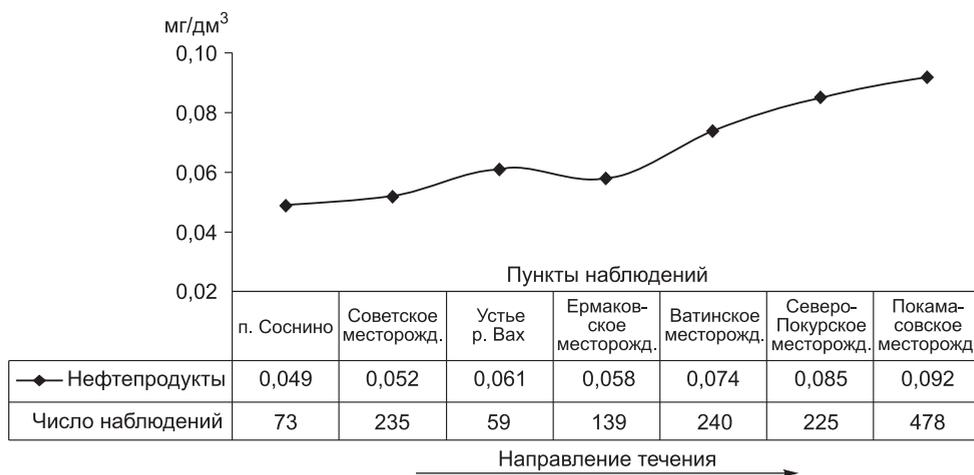


Рис. 5.16. Содержание нефтепродуктов в р. Обь (восточная часть ХМАО, обобщенные данные за период 1995–2011 гг.)

Ватинского месторождения варьирует от 0,05 до 0,13 мг/дм³ [199]. Ниже по течению продолжается рост концентрации НУВ, и в районе Северо-Покурского и Покамасовского месторождений она достигает 0,15 мг/дм³ (3 ПДК рыбохозяйственных водоемов). Таким образом, интенсивность поступления НУВ – выше скорости естественного разложения вследствие био- и фотохимических процессов.

Пространственный анализ усредненных концентраций хлоридов в воде Оби на участке от восточной границы ХМАО свидетельствует об интенсивном поступлении водорастворимых солей в реку, начинающемся приблизительно в 10 км ниже по течению от г. Нижневартовск, в районе Ватинского месторождения (рис. 5.17).

Известно, что общая тенденция изменения солевого состава вод Оби состоит в снижении концентрации главных ионов от истоков к устью. На широтном отрезке Оби до впадения Иртыша характерно уменьшение общей минерализации воды и снижение концентрации хлоридов за счет разбавления маломинерализованными водами, поступающими с местных заболоченных водосборов [133]. По данным изучения гидрохимического режима Оби в пределах Томской области, средняя концентрация хлоридов в Оби составляет 6,3 мг/дм³ при общей минерализации 199 мг/дм³ [238]. Таким образом, на территорию ХМАО воды Оби поступают маломинерализованными и характеризуются низким содержанием хлоридов. На территории ХМАО, до участка, примыкающего к Ватинскому месторождению, средние концентрации хлоридов меньше, чем выше по течению на сопредельных участках Томской области. Таким образом, распределение хлоридов от восточной границы округа до входа на Ватинское месторождение соответствует общей тенденции снижения минерализации и содержания главных ионов. Однако в райо-

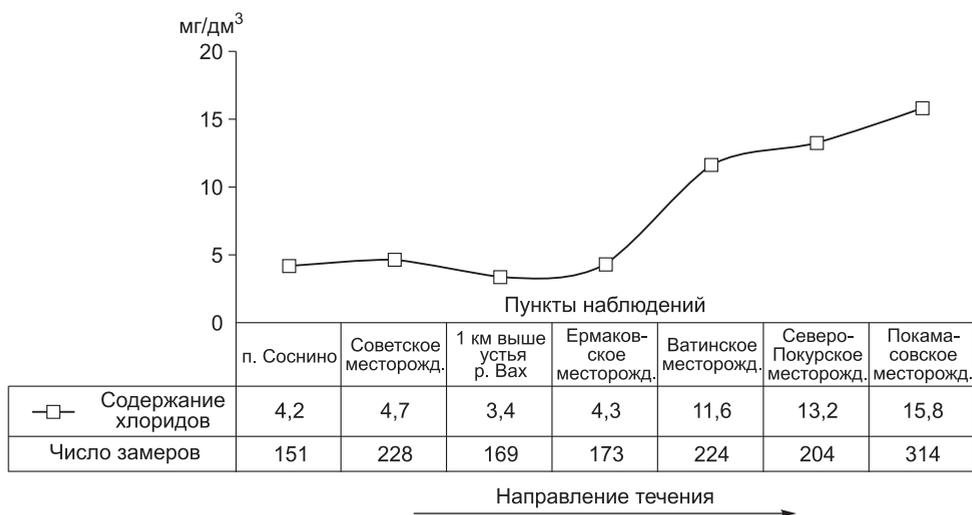


Рис. 5.17. Содержание хлоридов в р. Обь (восточная часть ХМАО, обобщенные данные за период 1995–2011 гг.)

не Ватинского месторождения состав вод претерпевает значительные изменения. Поступление вод с повышенным содержанием солей резко меняет ионный состав и приводит к значительному увеличению концентрации хлоридов в воде р. Обь. Рассмотрим подробнее гидрохимические показатели притоков Оби на этом участке.

При изучении воздействия природопользования на состав поверхностных вод весьма информативен бассейновый подход, при котором в качестве объектов исследований выступают водосборные бассейны как единое целое. Бассейновый метод исследования получил широкое распространение для решения различных задач, связанных с оценкой экологических ситуаций, и рассматривается как один из способов деления ландшафтно-геоэкологического пространства. Выделение пространственных единиц, являющихся объектами анализа, проводится при этом по объективным параметрам и может быть выполнено с использованием компьютерных программ. Бассейновые геосистемы имеют строгую иерархическую упорядоченность, они связаны потоками вещества и энергии, что обеспечивает возможность выявления прямых и обратных связей при воздействии на водные объекты. Поэтому бассейновый подход дает возможность оценивать собранную информацию и прогнозировать поведение геосистем при внешних воздействиях, а также осуществлять анализ на любом иерархическом уровне.

Практически вся территория ХМАО относится к Обь-Иртышской водосборной области. В пределах водосборной области на территории округа выделено десять водосборных бассейнов с хорошо выраженной структурой речной сети, разделенных четкой водораздельной границей [15]. Обобщенные результаты отдельных гидрохимических показателей некоторых водосборных бассейнов представлены в табл. 5.10.

Таблица 5.10

**Средние показатели химического состава поверхностных вод
в различных водосборных бассейнах ХМАО–Югры и экологически
значимые факторы**

Водосборный бассейн	рН	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	Fe _{общ} , мг/дм ³	Хлориды, мг/дм ³	Нефте- продукты, мг/дм ³	Экологически значимые факторы	
						Площади антропогенных геосистем, %	Доля заболоченных территорий, %
Вахский	6,25 (1995)	2,6 (1788)	3,0 (1799)	24,4 (3792)	0,07 (3757)	8,4	38,8
Ляминский	6,21 (324)	2,3 (410)	2,3 (1260)	13,4 (4271)	0,25 (4234)	5,3	55,6
Тромъеганский	6,48 (3079)	2,5 (3468)	2,6 (259)	34,9 (11165)	0,18 (12718)	20,9	60,4
Юганский	6,88 (168)	2,6 (128)	2,5 (150)	25,1 (490)	0,08 (453)	2,6	33,2

Примечание. В скобках – число проанализированных проб.

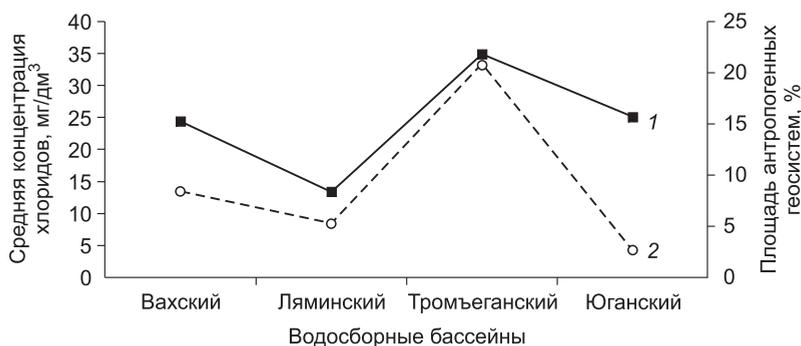


Рис. 5.18. Показатели техногенного воздействия на экосистемы в районах нефтедобычи Ханты-Мансийского автономного округа:

1 – среднее содержание хлоридов в речных водах; 2 – доля антропогенно-трансформированных геосистем в пределах водосборного бассейна

Проведенный корреляционный анализ показал, что из всех гидрохимических показателей содержание хлоридов наиболее сильно зависит от интенсивности техногенной нагрузки, выраженной через площадь техногенных геосистем (рис. 5.18). Зависимость между концентрацией хлоридов в водах различных водосборных бассейнов и техногенезом оказалась близка к линейной ($r = 0,94$).

Таким образом, деятельность по добыче нефти приводит к существенному изменению солевого режима водных объектов таежной зоны Западной Сибири при высокой интенсивности техногенного воздействия. Основным источником засоления являются разливы подтоварных вод и влияние шламовых амбаров. Концентрация хлоридов в поверхностных водах, с учетом сезонной динамики, является надежным индикаторным показателем, характеризующим интенсивность техногенеза, что связано с их высокой подвижностью и слабым проявлением геохимических барьеров.

5.2.2. Современный уровень загрязнения поверхностных вод в районах нефтедобычи

Нефтяное загрязнение

Проблема загрязнения гидросферы, вызванного добычей нефти на территории Тюменской области, исследуется достаточно давно. Количество работ, направленных на изучение его характера, масштабов и последствий, исчисляется многими сотнями. Имеется множество обзоров различной детальности, касающихся как общих, так и частных вопросов нефтяного и солевого загрязнения [18, 130, 133, 141, 142, 230, 251]. Вместе с тем полной ясности в этом вопросе нет – подбор и интерпретация материала нередко зависят от целевой установки автора. Частично анализ современного уровня загрязнения крупнейших водных объектов севера Западной Сибири был проведен в предыдущей главе, в которой было доказано значительное влияние техногенных объектов

нефтедобычи на формирование гидрохимического режима. Далее рассмотрим более детально вопросы нефтяного и солевого загрязнения в региональном масштабе.

Чтобы объективно оценить современное экологическое состояние водных объектов, прежде всего необходимо иметь “точку отсчета”, знать исходные гидрохимические характеристики. Наиболее репрезентативным в этом отношении является химический состав поверхностных вод в период, предшествующий началу освоения нефтяных месторождений. К сожалению, регулярные гидрохимические наблюдения на Оби и притоках в 1950-х гг. охватывали только ионный состав, минерализацию и кислотность, но информация о содержании нефтяных углеводородов отсутствует [185]. Это не позволяет точно оценить уровень содержания НУВ в поверхностных водах в период до начала освоения топливно-энергетических ресурсов Западной Сибири. Однако достоверно известно, что загрязнение поверхностных вод началось практически сразу после открытия запасов углеводородного сырья. Отмечалось, что за период с 1962 по 1965 г. в воды среднего и нижнего течения Оби поступило около 20,5 тыс. т. нефти, а ее содержание в воде превысило санитарную норму [82]. Весьма высокий уровень нефтяного загрязнения был зафиксирован в конце 1970 – начале 1980 гг. Изучение химического состава вод нижнего течения Иртыша и средней Оби показало, что предельно допустимые концентрации нефтепродуктов в воде в районах нефтедобычи (Сургут, Нижневартовск, Нефтеюганск) в этот период превышались в 8 раз и более [132]. В начале 1980-х гг. в р. Обь (пос. Белогорье) концентрация нефтепродуктов составляла 0,07–0,96 мг/дм³ (1,4–19,2 ПДК), в районе пос. Октябрьский среднее содержание нефтепродуктов достигало 0,32 мг/дм³ (6,4 ПДК); несколько ниже были концентрации в р. Иртыш (Ханты-Мансийск) – 0,08–0,30 мг/дм³ [254]. Многократное превышение ПДК наблюдалось в притоках Оби: в р. Вах, в малых реках Сургутского района [127, 245]. Позже уровень загрязнения стабилизировался. До 1988 г. наблюдалось уменьшение на 8–10 % содержания нефтепродуктов и фенола в речных водах ХМАО [254]. Среднегодовая концентрация нефтепродуктов в воде р. Обь (в пределах Тюменской области) в 1985 г. изменялась в пределах 0,24–0,51 мг/дм³, в 1986 – 0,22–0,55, в 1987 – 0,36–0,97, в 1988 г. – 0,38–0,64 мг/дм³ [229]. По расчетам Л.В. Михайловой [130], ежегодно в конце 1980-х гг. в Арктический бассейн выносилось 120 тыс. т биохимически стабильных нефтяных углеводородов. Фоновый уровень содержания НУВ в Оби был оценен в пределах 0,02–0,54 мг/дм³. Несколько позднее вынос нефтепродуктов Обью достиг 162 тыс. т, среднее содержание нефтепродуктов в Оби в начале 1990-х гг. составляло 0,35 мг/дм³, что в 7 раз выше величины ПДК рыбохозяйственных водоемов [280]. Таким образом, крупнейший водный объект региона стабильно был загрязнен нефтью и нефтепродуктами. В других реках уровень загрязнения был еще выше: среднегодовое содержание нефтепродуктов в 1987–1988 гг., по данным Омского УГКС, в воде р. Пим составляло 0,52–1,25 мг/дм³, в р. Аган –

0,13–0,42, в р. Вах – 0,35–0,40, в р. Большой Юган – 0,73–0,97 мг/дм³ [229]. По данным начала 1990-х гг., среднегодовая концентрация нефтепродуктов в реках Тромъеган, Вах, Большой Юган составляла 9–11 ПДК [187]. Многократно в реках округа фиксировались аномально высокие концентрации, вызванные авариями на нефтепроводах и буровых, причем превышение ПДК достигало десятков и сотен раз. В районе пос. Белогорье весной 1989 г. непосредственно после ледохода содержание нефтепродуктов у берега составляло 1600–2000 мг/дм³, в середине русла – 4,0–30,1 мг/дм³ [229].

Данные о содержании нефтепродуктов в реках ХМАО, полученные в середине 1990-х гг., свидетельствуют, что в этот период, по сравнению с 1980-ми гг., происходило некоторое снижение уровня нефтяного загрязнения. По обобщающим данным, в р. Обь на протяжении от Нижневартовска до пос. Перегребное среднее содержание нефтепродуктов редко превышало 0,3 мг/дм³, а среднее за год в Оби составляло около 0,2 мг/дм³ (4 ПДК) (табл. 5.11).

По данным работы Н.А. Добежиной [69], за период с 1990 по 1999 г. количество нефтепродуктов, поступающих с нефтесодержащими сточными водами в бассейн средней Оби, уменьшилось в 3 раза, но несмотря на это концентрация нефтепродуктов в поверхностных водных объектах возросла в 1,4 раза. В этот период неоднократно фиксировались аварии, сопровождающиеся опасным загрязнением речных вод. В 1996 г. в районе Сургута за счет происшедших аварий на р. Пим содержание нефтепродуктов повышалось до 0,52 мг/дм³ [229]. В 1999 г. в результате деятельности ЦГМС было выявлено 23 случая превышения ПДК по нефтепродуктам в 65–287 раз [163]. Максимальные концентрации наблюдались в 1998 г., когда среднегодовая концентрация нефтепродуктов варьировала от 4 до 197 ПДК. Наибольшему загрязнению

Таблица 5.11

Содержание нефтепродуктов в воде р. Обь, мг/дм³ [220]

Место отбора	1995			1996			1997			1998		
	Весна	Лето	Осень									
Выше г. Нижневартовск	0,14	0,12	0,13	0,23	0,14	0,09	0,16	0,09	0,12	0,13	0,23	0,11
Ниже г. Нижневартовск	0,14	0,14	0,14	0,16	0,18	0,12	0,13	0,15	0,13	0,16	0,21	0,14
Выше Сургута	0,14	0,13	0,14	0,18	0,14	0,11	0,3	0,12	0,21	0,19	0,32	0,09
Ниже Сургута	0,15	0,14	0,14	0,22	0,10	0,08	0,4	0,13	0,16	0,13	0,28	0,12
пос. Белогорье	0,17	0,28	0,22	0,19	0,25	0,23	0,24	0,26	0,34	0,16	0,08	0,06
пос. Кабель	0,12	0,14	0,18	0,23	0,17	0,2	0,36	0,28	0,34	0,16	0,06	0,08
пос. Елизарово	0,14	0,14	0,53	0,17	0,17	0,17	0,26	0,25	0,54	0,17	0,06	0,06
пос. Перегребное	–	0,26	0,14	0,23	0,23	0,72	0,27	0,23	0,36	0,15	0,07	0,08

Примечание. Прочерк – содержание не определялось.

подвержена Обь в створе ниже г. Нижневартовска (содержание нефтепродуктов 1,24–6,48 мг/дм³, причем самоочистительный потенциал реки не справляется с нагрузкой: на протяжении Оби от Нижневартовска до пос. Полноват из воды удаляется за счет самоочищения лишь 27 % нефтепродуктов [68]).

Ужесточение требований к соблюдению принципов экологически безопасного природопользования в текущем столетии положительно сказалось на состоянии гидросферы в регионе. Наметилась тенденция к сокращению нефтяного загрязнения. В результате гидрохимических исследований 2001 г. в летний период было зафиксировано среднее содержание нефтепродуктов в реках округа на уровне 0,13 мг/дм³; в 2002 г. среднее содержание нефтепродуктов составило 0,19 мг/дм³, а в 2003 г. по результатам анализа более 300 проб выявлено, что содержание нефтепродуктов осталось на уровне предшествующих лет и в среднем составило 0,17 мг/дм³ (3,3 ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения – ПДК_{вр}) [140].

Достаточно подробный анализ нефтяного загрязнения рек ХМАО был сделан сотрудниками НПЦ “Мониторинг” [109]. Согласно проведенным расчетам, большинство водных объектов округа отличаются превышением предельно допустимой концентрации нефтепродуктов, экстремально высокое загрязнение (более 5 мг/дм³) отмечалось регулярно для 2,2 % поверхностных вод, периодически – для 15 %. Высокое загрязнение (более 1,5 мг/дм³) эпизодически фиксировалось для 34 % поверхностных вод округа. К сожалению, в указанной работе не описано, какие временные интервалы подразумеваются под понятиями “регулярно”, “периодически” и “эпизодически”. Практически половина (48 %) исследованных поверхностных вод имела концентрации нефтепродуктов на уровне ПДК или ниже. Содержание на уровне 1–2 и 2–4 ПДК составляют соответственно 9,7 и 8,3 % от общего количества проб поверхностных вод.

Обобщение данных наблюдений за состоянием окружающей среды на различных месторождениях Тюменской области, проведенное С.А. Дорожкуевой [75], свидетельствует, что в ландшафтах таежной зоны среднее содержание нефтяных углеводородов в поверхностных водах изменяется от 0,097 до 0,12 мг/дм³, т. е. превышает ПДК в 1,9–2,4 раза. По данным эколого-химической оценки состояния водных систем бассейна Оби, выполненной С.В. Темеревым [222], максимальный уровень нефтяного загрязнения отмечается ниже впадения р. Томь, но в пределах ХМАО, как выше, так и ниже впадения Иртыша, уровень загрязнения относительно невысок, и в 2002 г. средние значения в створах мониторинга не превышали 0,12 мг/дм³ (2,4 ПДК_{вр}).

Таким образом, по большинству оценок современный уровень нефтяного загрязнения существенно ниже, чем в 1970–1990-е гг. Тем не менее оно остается одной из наиболее актуальных экологических проблем Западной Сибири. В настоящее время на территории Ханты-Мансийского автономного округа–Югры ежегодно происходит более 2,5 тыс.

аварийных разливов [214]. Не вызывает сомнений вывод о том, что назревает проблема качественного истощения водных ресурсов Западной Сибири как результат антропогенных нагрузок локального и глобального масштабов [134].

Актуальность комплексной оценки нефтяного загрязнения обусловила проведение углубленного пространственно-хронологического анализа содержания углеводородов нефтяного ряда (нефтепродуктов) в речных водах севера Западной Сибири. Объем проанализированного материала позволяет говорить о достаточно репрезентативной выборке, характеризующей экологическое состояние водных объектов. Всего за период 1993–2011 гг. проанализированы результаты более 100 тыс. замеров содержания нефтепродуктов в различных водных объектах округа.

Обобщенные данные о содержании в воде рек ХМАО нефтяных углеводородов приведены в табл. 5.12.

Реки ХМАО различаются по источникам питания, характеру и типу техногенного воздействия. Это находит свое отражение в составе речных вод, в том числе и в уровне концентрации нефтяных углеводородов. По результатам исследований, к числу наиболее загрязненных рек относятся р. Калиновая, дренирующая территорию Западно-Сургутского месторождения; р. Тромъеган, в бассейне которого располагаются Русскинское, Тевлинско-Русскинское, Тянское месторождения; р. Почекуйка (Восточно-Сургутское месторождение); р. Вать-Еган (Повховское месторождение); р. Пим (Нижнесортымское, Алехинское, Лянторское месторождения).

Уровень концентрации нефтяных углеводородов в поверхностных водах ХМАО отличается высокой изменчивостью. Коэффициенты вариации для всех крупных рек превышают 100 %, что связано с “всплесками” концентрации нефтепродуктов в случае техногенного загрязнения.

Анализ внутригодовой динамики нефтяных углеводородов в поверхностных водах месторождений дает основания для вывода о том, что нефтяное загрязнение водотоков связано с точечными и диффузными источниками. Точечные источники, в качестве которых можно рассматривать аварийные разливы в непосредственной близости от водных объектов, являются мощным источником поступления загрязнителей в гидросеть и приводят к кратковременному, но значительному росту концентраций. Возврат к фоновому уровню происходит в течение месяца. Краткий период загрязненности часто не позволяет зафиксировать факт загрязнения и его интенсивность в труднодоступных участках. Диффузное поступление происходит вследствие выноса почвенными водами НУВ из рассредоточенных по территории водосборного бассейна шламовых амбаров, котлованов-отстойников, многочисленных нефтяных разливов и обуславливает повышение фонового уровня.

Ряд исследований свидетельствует, что уровень техногенного геохимического воздействия, в особенности воздействия диффузного загрязнения, закономерно увеличивается по мере разработки месторождений. На обширном статистическом материале по 33 месторождениям

Таблица 5.12

Содержание нефтепродуктов в воде рек ХМАО

Водный объект	Период наблюдений	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Me</i>	<i>SD</i>	<i>V</i> , %
р. Аган	1993–2011	2346	0,10	0,05	0,13	130
р. Большой Балык	2000–2011	526	0,04	0,03	0,05	130
р. Ватинский Еган	1993–2011	2110	0,10	0,05	0,29	290
р. Вах	1993–2011	2743	0,07	0,05	0,18	257
р. Ван-Еган	1993–2011	378	0,04	0,03	0,09	225
р. Вать-Еган	1993–2011	939	0,15	0,04	0,04	28
р. Глубокий Сабун	2002–2011	36	0,03	0,02	0,01	44
р. Гун-Еган	1993–2011	480	0,06	0,05	0,05	91
р. Ершовая	1993–2011	535	0,08	0,05	0,14	171
р. Калиновая	2000–2008	238	0,80	0,10	1,48	185
р. Куй-Еган	1993–2011	388	0,08	0,05	0,08	104
р. Конда	2008–2011	483	0,05	0,03	0,13	231
р. Куль-Еган	1995–2011	392	0,04	0,05	0,03	81
р. Лас-Еган	1993–2011	453	0,08	0,06	0,09	102
р. Малый Еган	1993–2011	426	0,09	0,05	0,09	97
р. Мохтик-Яун	1995–2008	115	0,06	0,05	0,05	80
р. Нонг-Еган	1993–2011	879	0,1	0,04	0,14	140
р. Обь (в пределах ХМАО)	1993–2011	4038	0,06	0,04	0,15	238
р. Пим	1995–2011	1760	0,19	0,13	0,33	175
р. Почекуйка	1995–2011	303	0,23	0,08	1,09	474
р. Пыть-Ях	2000–2011	426	0,05	0,03	0,08	165
р. Лямин	2003–2011	73	0,06	0,04	0,07	114
р. Сарт-Еган	1993–2011	426	0,09	0,05	0,21	233
р. Тромъеган	1993–2011	1265	0,17	0,12	0,45	265
р. Туль-Еган	2001–2011	135	0,06	0,05	0,07	124
р. Урьевский Еган	1993–2011	1112	0,11	0,07	0,14	125
р. Иртыш	2003–2011	213	0,07	0,03	0,17	254
р. Юх-Еган	1993–2011	260	0,08	0,05	0,13	149
р. Большой Юган	2004–2011	351	0,03	0,02	0,02	81
прот. Юганская Обь	2005–2011	618	0,03	0,02	0,07	292
оз. Самотлор	2008–2011	85	0,07	0,04	0,03	64
р. Назым	2008–2011	42	0,05	0,03	0,05	92
р. Малый Балык	2000–2011	667	0,04	0,02	0,12	314
В среднем по округу	1993–2011	102 155	0,133	0,036	2,69	2023

Нижневартовского района было выявлено повышение средних концентраций нефтепродуктов в почвах и поверхностных водах месторождений, осваиваемых в течение более 5 лет, по сравнению с территориями, где нефтедобыча еще не ведется или находится в начальной стадии разработки. Количество нефтяных углеводородов в поверхностных водах на неразрабатываемых участках в 1,7 раза меньше, чем на месторож-

дениях, осваиваемых в течение 5–20 лет, и в 4,5 раза меньше, чем на месторождениях со сроком эксплуатации более 20 лет [250]. Таким образом, уровень нефтяного загрязнения почв и поверхностных вод в пределах месторождений находится в прямой зависимости от срока их эксплуатации. Низкие средние показатели загрязнения, как и небольшое число месторождений со значительным (в 4 раза и более) средним превышением ПДК, являются свидетельством того, что нефтяное загрязнение в округе в настоящее время стабилизировалось. Тем не менее регулярные аварии на трубопроводах, часто не отражаемые в официальной отчетности, представляют серьезную экологическую угрозу для водных экосистем.

Для характеристики современного уровня нефтезагрязнения гидросферы приведем обобщенные результаты данных мониторинга, проводимого на месторождениях ХМАО в последние годы (2006–2011 гг.), особенно в последнее трехлетие.

Данные мониторинговых наблюдений на месторождениях ХМАО свидетельствуют, что число проб, концентрация нефтепродуктов в которых превышает уровень ПДК, стабильно уменьшается. Если в 2006 г. зафиксирована средняя концентрация на уровне ПДК (0,05 мг/дм³), то в 2011 г. среднее значение составило менее 0,03 мг/дм³ (табл. 5.13).

Значение медианы весьма стабильно за рассматриваемый период наблюдений и меняется в пределах 0,025–0,028 мг/дм³. За последнее пятилетие сильно сократилось число проб, в которых превышен уровень ПДК_{вр} (рис. 5.19). Причины загрязнения связаны с диффузным поступлением НУВ от буровых площадок, трубопроводов и других объектов и с залповым выбросом при крупных авариях, которые происходят из-за коррозии трубопроводов.

Случаи значительного нефтяного загрязнения до сих пор нередки. Наибольшее их количество отмечено на месторождениях, разрабатываемых ООО “Роснефть–Юганскнефтегаз” и ОАО “Томскнефть” (табл. 5.14). Наиболее часто источниками загрязнения являются кусты эксплуатационных скважин, нефтепроводы и коридоры коммуникаций, значительно реже наблюдается загрязнение от разведочных буровых. Интенсив-

Таблица 5.13

Статистические показатели содержания нефтяных углеводородов (нефтепродуктов) в поверхностных водах участков нефтедобычи ХМАО–Югры

Год	Кол-во измерений	min, мг/дм ³	max, мг/дм ³	M, мг/дм ³	Me, мг/дм ³	Кол-во измерений с превышением ПДК, %
2006	4361	0,001	2,05	0,05	0,025	27,3
2007	9973	0,0005	2,36	0,046	0,026	19,9
2008	13785	0,0002	1,7	0,038	0,027	14,1
2009	12040	0,003	1,5	0,036	0,028	11,3
2010	11497	0,0005	4,6	0,033	0,027	7,4
2011	8582	0,002	0,25	0,027	0,026	5,2

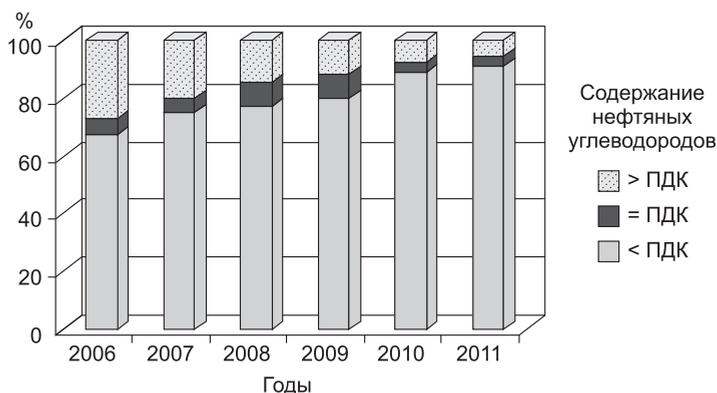


Рис. 5.19. Содержание нефтяных углеводородов в поверхностных водах на месторождениях ХМАО–Югры (по отношению к ПДК_{вр})

ное нефтезагрязнение наблюдалось в период 2009–2011 гг. на 12 месторождениях ХМАО–Югры. По три раза аномальные концентрации были отмечены в водных объектах Мало-Балыкского, Средне-Балыкского и Петелинского месторождений, дважды – в водах Южно-Балыкского, Мамонтовского, Правдинского и Нижневартовского, по одному разу – в пределах Приобского, Угутского, Солкинского, Советского и Северного месторождений. Примечательно, что все выявленные случаи загрязнения связаны с деятельностью двух недропользователей: ОАО «Роснефть–Юганскнефтегаз» (19 случаев) и ОАО «Томскнефть–ВНК» (5 случаев). Остальные недропользователи, включая крупнейшие нефтедобывающие компании, судя по данным мониторинга, не допускали аварийного попадания нефти в реки.

Следует отметить, что в 2011 г. число случаев с выявлением аномальных концентраций значительно сократилось по сравнению с предшествующими годами.

Наиболее загрязненными в 2009–2011 гг. были реки Энтль-Лэпыкигль, Мохкотъега, Большой Варьеган, Устинкина, безымянный приток р. Курьеган, оз. Лэпыкигльтойлор. В 2010 г. была велика доля нефтезагрязненных проб в р. Ай-Яун.

Однако выявленные аномальные величины не дают общей картины экологического состояния бассейна реки. Наибольшее поступление нефтяных углеводородов связано с рассредоточенными источниками, в первую очередь с локальными разливами в пределах водосборной площади [237, 238]. Поступление из диффузных источников приводит к повышению уровня «фона» нефтяных углеводородов в речных и озерных водах. Таким образом, обобщенные величины содержания НУВ в речных водах могут служить индикатором экологической ситуации и характеризовать соблюдение недропользователями норм рационального природопользования.

Проведенное обобщение данных мониторинга поверхностных вод свидетельствует, что в период 1995–2011 гг. наиболее загрязненными

Таблица 5.14

**Выявленные случаи максимального нефтезагрязнения
поверхностных вод на участках распределенного фонда недр
ХМАО–Югры, 2009–2011 гг.**

Место-рождение	Недропользователь	Концентрация, мг/дм ³	Превышение ПДК, раз	Водный объект	Расположение пункта мониторинга
1	2	3	4	5	6
<i>2009 г.</i>					
Мало-Балыкское	ОАО НК “Роснефть”	1,08	21,6	р. Суйка	Ниже пересечения магистрального нефтепровода
Мамонтовское		0,702	14,04	р. Пучил-Игый	Район куста скважин
Петелинское		1,27	25,4	р. Ляркина	Ниже коридора коммуникаций
Приобское		1,08	21,6	р. Малый Салым	Карьер в междуречье р. Малый Салым и прот. Кривая, район скважины
Солкинское (южная часть)		0,691	13,82	прот. Сингапай	В районе кустов скважин
Угутское	ОАО “Томскнефть–ВНК”	1,24	24,8	р. Угутка	Южнее скважин
Южно-Балыкское		0,727	14,54	р. Парки	В восточной части, ниже коридора коммуникаций
Нижневартовское		0,68	13,6	р. Крым-Сым-Еган	250 м на юго-восток от куста скважин
Советское		0,55	11	прот. Никулкина	750 м на северо-северо-запад от куста скважин
<i>2010 г.</i>					
Первомайское	ОАО “Томскнефть–ВНК”	4,6	92	оз. Лэпыкигль-тойлор	Район куста скважин
Правдинское	ООО “Роснефть–Юганскнефтегаз”	1,87	37,4	р. Большой Варьеган	В непосредственной близости от куста скважин
Петелинское		1,6	32	р. Устинкина	500 м восточнее куста скважин
Петелинское		1,22	24,4		В среднем течении, ниже коридора коммуникаций
Правдинское		0,967	19,34	р. Большой Варьеган	Исток в 150 м юго-западнее куста скважин
Нижневартовское	ОАО “Томскнефть–ВНК”	0,82	16,4	р. Вах	1500 м от куста скважин

Окончание табл. 5.14

1	2	3	4	5	6
Южно-Балыкское	ООО "Роснефть-Юганскнефтегаз"	0,756	15,12	р. Ай-Яун	Восточная часть, 300 м юго-восточнее куста скважин
Мамонтовское		0,736	14,72	р. Энтль-Энкаигль	В среднем течении реки
Средне-Балыкское		0,706	14,12	р. Ай-Яун	Верховье, северная часть
Северное	ОАО "Томскнефть-ВНК"	0,66	13,2	Безымянный ручей – приток р. Курьеган	500 м от разведочной скважины
Мало-Балыкское	ООО "Роснефть-Юганскнефтегаз"	0,614	12,28	р. Тихая	Среднее течение, выше пересечения с автодорогой
Средне-Балыкское		0,612	12,24	р. Ай-Яун	В верховье, северная часть
Мало-Балыкское		0,583	11,66	р. Тихая	Западная граница, ниже пересечения магистрального нефтепровода
2011 г.					
Правдинское	ООО "Роснефть-Юганскнефтегаз"	0,911	18,2	р. Мохкотъега	В среднем течении реки
Средне-Балыкское (основная часть)		0,766	15,3	р. Ай-Яун	Центральная часть, в 300 м юго-восточнее куста скважин
Правдинское		0,436	8,7	р. Вырьс-Ега	Устье реки, в непосредственной близости от куста скважин
Средне-Балыкское		0,356	7,1	р. Ай-Яун	В верховье, северная часть
Правдинское		0,323	6,5	р. Мохкотъега	Устье реки, в непосредственной близости от куста скважин
Приразломное		0,289	5,8	р. Катъмъеган	Ниже по течению от пересечения межпромыслового нефтепровода
Средне-Балыкское		0,26	5,2	Безымянный ручей – правый приток р. Малый Балык	В юго-западной части
Южно-Балыкское		0,253	5,1	р. Межевая	В 800 м северо-восточнее ДНС-3
Западно-Варьеганское	ООО "Белые ночи"	0,25	5,0	р. Ампута	Выход с месторождения

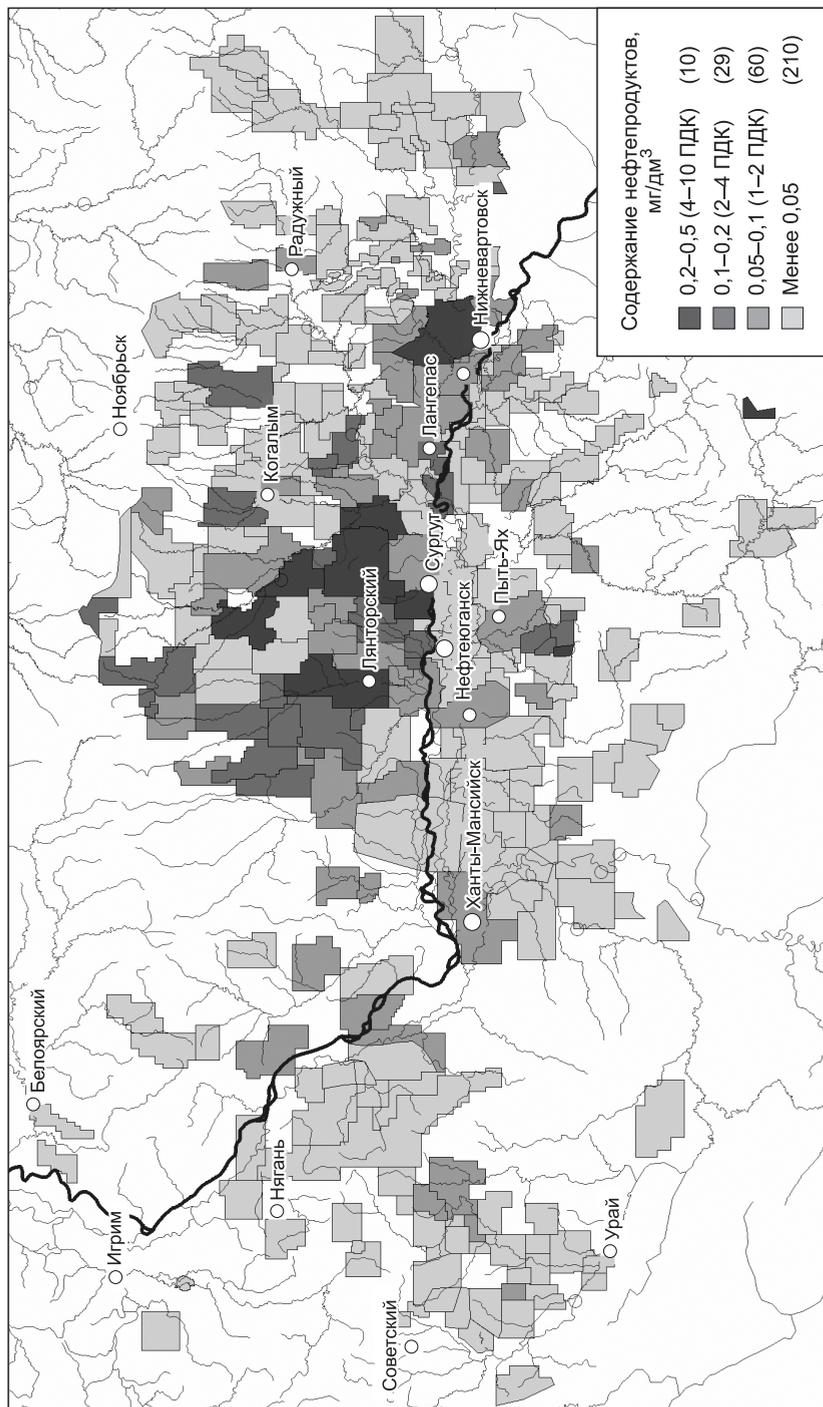


Рис. 5.20. Среднее содержание нефтепродуктов в воде лицензионных участков нефтедобычи ХМАО–Югры, 1995–2011 гг.

были месторождения Среднего Приобья (Федоровское, Западно-Сургутское, Восточно-Сургутское, Лянторское, Русскинское, Западно-Салымское, Салымское, Верхне-Салымское) (рис. 5.20).

В последние годы максимальный уровень загрязнения отмечается к югу от широтного отрезка Оби, на территории Средне-Балыкского, Южно-Балыкского, Первомайского месторождений. Среднее содержание нефтепродуктов в поверхностных водах некоторых месторождений превышают уровень ПДК. Уровень нефтезагрязнения водных объектов (рек и озер) по отдельным месторождениям ХМАО–Югры представлен в табл. 5.15. За исключением Первомайского месторождения, показатели определены на основании значительного числа проанализированных проб, что исключает случайные факторы. На Северном и Средне-Балыкском месторождениях превышение ПДК_{вр} фиксируется примерно в половине проанализированных проб. Нужно также отметить, что на Первомайском месторождении, помимо экстремально высокой концентрации в оз. Лэпыкигльтойлор, зафиксирован ряд повышенных значений на уровне 4–10 ПДК_{вр} в р. Энталь-Лэпыкигль. На Северном и Средне-Балыкском месторождениях превышение ПДК_{вр} фиксируется примерно в половине проанализированных проб.

Таким образом, опираясь на данные мониторинговых наблюдений последних лет, можно охарактеризовать динамику как положительную. Более половины (58 %) месторождений отличается низкими показателями содержания нефтепродуктов в речных водах, не превышающими

Таблица 5.15

Лицензионные участки с повышенным уровнем нефтезагрязнения поверхностных вод (среднее значение превышает уровень ПДК_{вр}) (2009–2011 гг.)

Месторождение	M, мг/дм ³	n	Водные объекты	Недропользователь
Первомайское	0,59	11	оз. Лэпыкигльтойлор, р. Энталь-Лэпыкигль	ОАО “Томскнефть–ВНК”
Северное	0,11	56	Безымянный ручей, приток р. Курьеган	
Средне-Балыкское	0,09	54	р. Ай-Яун	ООО “Роснефть–Юганскнефтегаз”
Южно-Балыкское	0,08	108	Реки Пыть-Ях, Парки, Ай-Яун, Межевая	
Полуденное	0,08	150	Реки Большой Еган, Акимкина	ОАО “Томскнефть–ВНК”
Правдинское	0,07	254	прот. Большая Юганская, реки Большой Варьеган, Пойк	ООО “Роснефть–Юганскнефтегаз”
Средне-Балыкское (основная часть)	0,06	63	Реки Пыть-Ях, Ай-Яун	
Петелинское	0,07	126	Реки Устинкина, Ляркина, Тепла	
Русскинское	0,07	66	Реки Тромъеган, Лимпас, Муялор-Яун	ОАО “Сургутнефтегаз”, НГДУ “Комсомольскнефть”

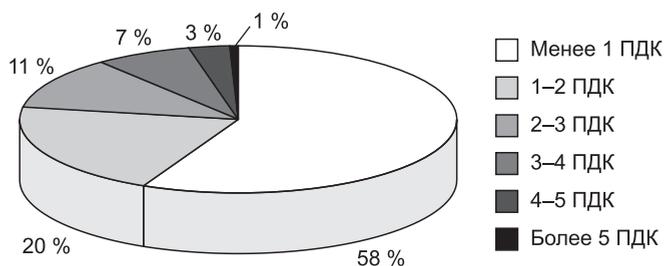


Рис. 5.21. Доля лицензионных участков с различной степенью загрязнения поверхностных вод нефтепродуктами

ПДК рыбохозяйственных водоемов (рис. 5.21). Следует, однако, отметить, что большинство месторождений находится в стадии начального освоения.

Солевое загрязнение

Как было показано ранее, солевое загрязнение поверхностных вод отражает степень техногенной нагрузки и соблюдение норм рационального природопользования. В доиндустриальный этап содержание хлоридов в реках северной части Западной Сибири в зависимости от гидрологического сезона, водности и типа питания изменялось от 1 до 23 мг/дм³ (1–13 экв.%) [185]. Интенсивное солевое загрязнение, приведшее к возрастанию концентрации хлоридов и ухудшению качества воды Оби и притоков, началось с начала освоения месторождений. Достоверные сведения о росте содержания хлоридов были получены в середине 1970-х гг. Отмечалось, что в 1950-е гг. в Оби содержание хлоридов составляло в среднем около 4 мг/дм³, но в период активного освоения 1970–1980-х гг. возросло в среднем до 7,2 мг/дм³ [229]. В 1990-х гг. содержание хлоридов в Оби изменялось от 2,9 до 10,0 мг/дм³ [230]. Необходимо отметить, что р. Обь вследствие большого объема стока, значительная часть которого формируется вне сферы влияния нефтедобычи, слабо отражает специфику регионального техногенеза.

На нефтяных месторождениях ХМАО–Югры, по данным мониторинговых работ, выполненных недропользователями, среднее содержание хлоридов в поверхностных водах (среднеарифметическое значение) было зафиксировано на уровне 71,3 мг/дм³, а величина медианы составила 10,0 мг/дм³ [18]. Столь большая разница была связана с частыми случаями обнаружения аномально высоких концентраций, превышающих фоновый уровень в 10–100 раз.

В последние годы на участках нефтедобычи среднее содержание хлоридов составляет 19–21 мг/дм³ (табл. 5.16). Как правило, содержание хлоридов в зависимости от гидрологических фаз варьирует в пределах от 2–25 мг/дм³ (в период половодья 2–15 мг/дм³, в ледовый период 15–25 мг/дм³). Величина среднегодового значения медианы в последнее время стабильно составляет 5–6 мг/дм³. Таким образом, уровень солевого загрязнения в целом для региона стабилизировался на относительно низком уровне.

Таблица 5.16

**Статистические показатели содержания хлоридов
в поверхностных водах нефтяных месторождений ХМАО-Югры**

Год	Кол-во измерений	min, мг/дм ³	max, мг/дм ³	M, мг/дм ³	Me, мг/дм ³	Кол-во измерений с превышением ПДК, %
2006	4411	0,11	8869,7	56	6	2,54
2007	10026	0,01	2863,1	23	5	0,91
2008	13758	0,01	1810	18	5	0,52
2009	12076	0,024	1618,95	19	5	0,60
2010	11515	0,02	8227,13	21	5	0,82
2011	8679	0,1	5441	20	6,7	0,60

Анализ погодичной динамики свидетельствует о постепенном сокращении средних концентраций хлоридов. Если в середине 1990-х гг. отмечались многочисленные случаи солевого загрязнения, то в текущем веке средний уровень значительно снизился (рис. 5.22).

Случаи превышения ПДК составляют доли процента от выборки, однако следует иметь в виду, что уровень ПДК (300 мг/дм³) в несколько десятков раз выше уровня, типичного для вод таежной зоны, и любой случай превышения ПДК свидетельствует об интенсивном техногенном влиянии, представляющем угрозу для водных экосистем. Наибольшее число случаев превышения ПДК в 2004–2008 гг. было отмечено на территории Самотлорского месторождения (ОАО «Самотлорнефтегаз»), затем здесь произошло постепенное снижение солевого загрязнения. В 2010 г. случаи аварийного поступления хлоридов в поверхностные воды были выявлены главным образом на Петелинском и Южно-Балыкском месторождениях (ООО «Роснефть-Юганскнефтегаз»), в 2011 г. – на Петелинском и Угутском. Наиболее загрязненными были реки Устинкина, Ай-Яун и Межевая, также загрязнены небольшие безымянные внутриболотные озера, примыкающие к объектам нефтедобычи на этих участках (табл. 5.17). Случаи солевого загрязнения наблюдались на реках Устинкина и Ай-Яун и ранее, однако его интенсивность была значи-

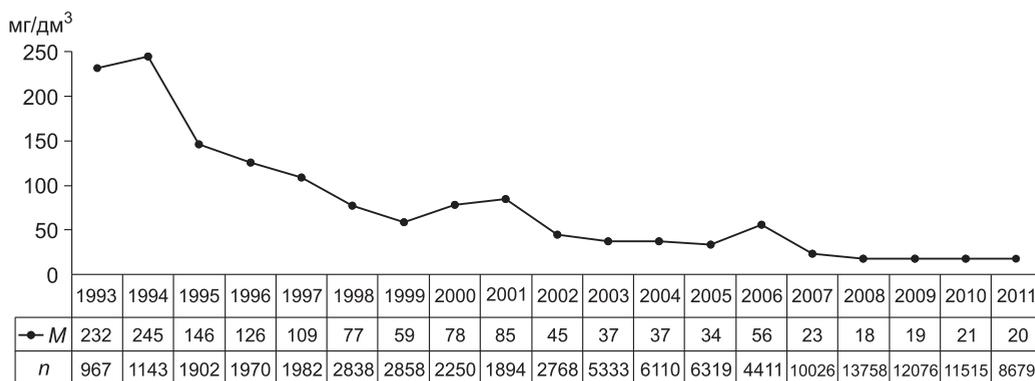


Рис. 5.22. Среднее содержание хлоридов в воде рек ХМАО

Таблица 5.17

**Выявленные случаи солевого загрязнения поверхностных вод
на участках нефтедобычи ХМАО-Югры (2009–2011 гг.)**

Месторождение	Недропользователь	Концентрация хлоридов, мг/дм ³	Превышение ПДК, раз	Водный объект	
1	2	3	4	5	
<i>2009 г.</i>					
Холмогорское	ОАО «Газпромнефть-Ноябрьск НГ»	492,75	1,64	р. Ай-Кирилл-Выссягун	
Рославльское	ОАО МПК «АганНГГ»	454,3–562	1,5–1,87	Безымянное оз.	
Киньяминское		302–651	1–2,17	р. Сэккынгыаха	
Мало-Балыкское		391,5	1,31	р. Суйка	
Мамонтовское		309–312	1,03–1,04	р. Ай-Яун	
Петелинское		751–788	2,5–2,63	р. Устинкина	
Правдинское		346–994,89	1,15–3,3	р. Мохкотъега	
Приразломное		318–500	1,06–1,67	р. Малый Валысьях	
Средне-Балыкское		ОАО НК «Роснефть»	424	1,41	р. Ай-Яун
Угутское			1064,12	3,55	р. Большой Юган
Южно-Балыкское			849,3–1069	2,8–3,56	Безымянное оз.
	314–697,5		1,05–2,3	р. Ай-Яун	
	386–472		1,29–1,57	р. Межевая	
Южно-Сургутское		512,09	1,71	р. Пыть-Ях	
		1053,47	3,51	прот. Кривая	
Самотлорское	ОАО «Самотлор-нефтегаз»	310–406	1,03–1,35	оз. Белое	
		311–353	1,04–1,18	р. Ватинский Еган	
		324–592	1,08–1,97	р. Куй-Еган	
Вахское	ОАО «Томскнефть-ВНК»	542–846	1,8–2,82	руч. Безымянный	
Ватьеганское	ООО «Лукойл-Западная Сибирь»	1618,95	5,4	Безымянное оз.	
<i>2010 г.</i>					
Петелинское	ОАО НК «Роснефть»	8227,13	27,4	р. Устинкина	
		8218,5	27,4		
		4579,5	15,3		
Южно-Балыкское		4455	14,9	р. Ай-Яун	
Петелинское		4340	14,5	р. Устинкина	
Южно-Балыкское		2025	6,8	р. Ай-Яун	
		2019	6,7		
		2015	6,7		
		1916	6,4		
		1833,58	6,1		
Угутское		1748,38	5,8	Безымянное оз.	
Южно-Балыкское		1704	5,7	р. Ай-Яун	
Петелинское		1685,37	5,6	р. Устинкина	
Южно-Балыкское		1625	5,4	р. Межевая	
Петелинское		1570,88	5,2	р. Устинкина	

Окончание табл. 5.17

1	2	3	4	5
2011 г.				
Петелинское	ОАО НК "Роснефть"	5441	18,1	р. Устинкина
		3639	12,1	
Правдинское		2027,9	6,8	р. Большой Варьеган
Угутское		1495	5,0	Безымянное оз.
Правдинское		1409	4,7	р. Мохкотъега
Угутское		1350	4,5	Безымянное оз.
		1230	4,1	
		1085	3,6	
		1021	3,4	
Самотлорское (северная часть)	ОАО "ТНК-Нижне- вартовск"	1018	3,4	р. Сарт-Еган
Угутское	ОАО НК "Роснефть"	1006	3,4	Безымянное оз.

тельно ниже. Наибольшее количество аварийных разливов фиксируется на месторождениях, разрабатываемых ОАО "Роснефть-Юганскнефтегаз" – Южно-Балыкское, Средне-Балыкское, Петелинское, Угутское.

Современный уровень солевого загрязнения максимален на месторождениях, разрабатываемых ООО "Роснефть-Юганскнефтегаз", причем солевое загрязнение наблюдается во все гидрологические сезоны, что свидетельствует о вторичном загрязнении – поступлении хлоридов из засоленных почв.

По уровню солевого загрязнения выделяются Петелинское и Южно-Балыкское месторождения, где средняя концентрация хлоридов в водах превышает уровень ПДК (300 мг/дм³). Весьма высок уровень загрязнения и в водных объектах Угутского, Киняминского и Средне-Балыкского месторождений (табл. 5.18)

Таблица 5.18

**Лицензионные участки с максимальным уровнем
солевого загрязнения поверхностных вод (2009–2011 гг.)**

Месторождение	M, мг/дм ³	n	Водные объекты	Недропользователь
Петелинское	375,1	126	Реки Устинкина, Ляркина, Тепла	ООО "Роснефть-Юганскнефтегаз"
Южно-Балыкское	348,9	108	Реки Ай-Яун, Пыть-Ях, Межевая, Парки	
Угутское	181,4	155	Реки Большой Юган, Угутка, Коимсам	ТТП "Когалымнефтегаз"
Киняминское	104,8	99	Реки Сэккынгыяха, Сурьяха	
Средне-Балыкское	104,1	63	Реки Ай-Яун, Пыть-Ях	
Варьеганское	80,4	192	Реки Неримъеган, Тлоктынъеган, Айка-Еган	ООО "Роснефть-Юганскнефтегаз"
Правдинское	72,4	254	Реки Большой Варьеган, Пойк, Вырьс-Ега, прот. Большая Юганская	

Обобщенные данные о солевом загрязнении рек, пересекающих участки нефтедобычи ХМАО, за период 1993–2011 гг. представлены в табл. 5.19.

Максимальное содержание хлоридов свойственно р. Ватинский Еган с притоками. Также велики концентрации хлоридов в малых притоках Оби на территории Сургутского района и в реках – левых притоках Оби на широтном отрезке, которые пересекают длительно разрабатываемые месторождения (Петелинское, Мамонтовское, Усть-Балыкское, Южно-Балыкское (рис. 5.23)). В воде главного русла Оби, объем стока

Таблица 5.19

Содержание хлоридов в воде рек ХМАО

Река	Период наблюдений	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Me</i>	<i>SD</i>	<i>V</i> , %
Аган	1993–2010	2084	15,0	10,8	22,2	148,7
Большой Балык	2000–2010	473	40,2	28,8	54,2	134,8
Ватинский Еган	1993–2010	2001	191,0	92,0	286,0	149,8
Вах	1993–2010	1800	4,1	2,9	4,9	119,5
Ван-Еган	1993–2010	358	17,3	6,6	26,7	154,5
Вать-Еган	1993–2010	915	12,4	10,2	5,7	45,9
Глубокий Сабун	2003–2007	36	1,7	1,3	1,5	88,7
Гун-Еган	1993–2010	465	25,4	8,1	56,6	222,6
Ершовая	1993–2010	525	200,3	96,8	347,9	173,7
Калиновая	1995–2009	251	63,0	45,0	61,8	98,2
Куй-Еган	1993–2010	371	695,7	557,0	581,7	83,6
Котухта	1998–2010	132	3,9	3,0	2,8	72,2
Куль-Еган	1994–2010	352	7,4	3,8	9,9	133,8
Лас-Еган	1993–2010	409	233,9	96,1	375,1	160,4
Малый Еган	1993–2010	397	23,1	10,1	50,8	220,4
Мохтик-Яун	1993–2006	104	6,5	4,8	8,8	134,8
Нонг-Еган	1993–2010	722	25,1	20,7	21,5	85,9
Обь	1993–2010	3652	8,9	5,0	30,0	337,3
Пим	1993–2010	1721	10,6	9,7	11,5	108,2
Почекуйка	1995–2010	293	40,4	28,4	54,2	134,1
Пыть-Ях	2000–2010	388	132,3	51,3	477,0	360,5
Сайма	1998–2005	61	37,1	17,2	44,1	118,8
Сарт-Еган	1993–2010	421	209,4	63,8	462,7	221,0
Тромъеган	1995–2010	960	11,5	10,0	13,3	115,4
Туль-Еган	1993–2001	126	54,6	5,9	161,1	295,2
Урьевский Еган	1993–2010	1036	332,6	76,9	695,5	209,1
Энтль-Гун-Еган	2006–2010	139	11,5	6,1	14,9	128,7
Юх-Еган	1993–2010	253	67,1	25,0	148,3	221,0
Северная Сосьва	2006–2009	65	3,5	3,3	2,3	64,7
Назым	2005–2010	41	1,4	1,0	1,5	112,4
Лямин	2003–2010	65	2,6	0,9	3,5	135,3
Иртыш	2003–2010	168	13,2	13,0	6,5	49,6
В среднем по округу	1993–2011	96824	42,4	7,1	223	530

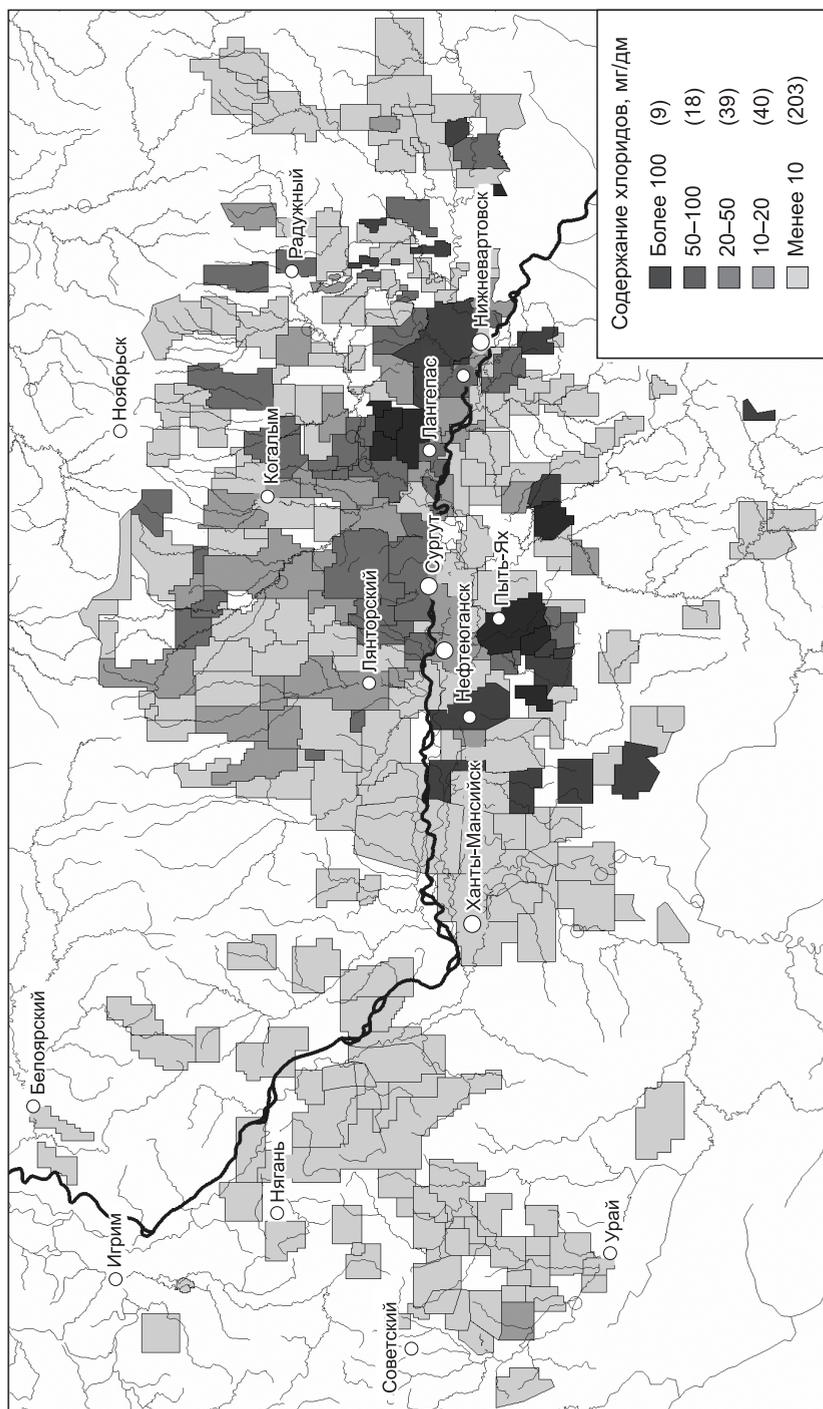


Рис. 5.23. Среднее содержание хлоридов в воде лицензионных участков нефтедобычи ХМАО, 1993–2011 гг.

которой превышает объем стока всех притоков на территории округа, содержание хлоридов мало и в различные годы изменяется в среднем за год от 2,7 до 7,6 мг/дм³.

Загрязнение веществами биогенного происхождения

В пробах воды таежных рек биогенный азот представлен в основном аммонийной формой. Повышенная концентрация ионов аммония может быть использована в качестве индикаторного показателя, отражающего ухудшение санитарного состояния водного объекта и индицирующего загрязнение промышленными и бытовыми стоками. По данным многолетнего ряда наблюдений, средняя концентрация аммонийного азота в речных водах округа составляет 1,36 мг/дм³; около 70 % проб поверхностных вод, отобранных на месторождениях ХМАО, имеют концентрации NH_4^+ , превышающие уровень ПДК_{вр} [18]. Нужно отметить, что в главные реки округа – Обь и Иртыш соединения азота в значительной степени поступают из более южных широт. Однако вносят вклад и местные источники, прежде всего населенные пункты. Освоение нефтяных месторождений и рост населения вызвали существенное увеличение поступления аммонийного азота в поверхностные воды ХМАО [229]. Минеральные формы азота в речных водах накапливаются главным образом в холодный период года, в теплый период идет их биологическое потребление, поэтому содержание в воде биогенных веществ в летне-осенний период снижается. Однако даже сниженный уровень летне-осенней межени находится вблизи уровня ПДК (0,5 мг/дм³).

В последние годы концентрация NH_4^+ в водных объектах распределенного фонда недр изменялась от <0,02 до 50 мг/дм³, в среднем за год содержание аммонийного азота в водах рек, дренирующих участки нефтедобычи, составляет от 0,55 до 1,1 мг/дм³ (табл. 5.20).

Как правило, более половины проб поверхностных вод на территории ХМАО содержит аммонийный азот в количествах, превышающих ПДК, поэтому поверхностные воды относятся к “загрязненным”. Так, в 2010–2011 гг. число проб с превышением ПДК составило около 55 %, что близко к среднемуголетнему уровню (рис. 5.24).

В р. Обь содержание аммонийного азота на участках нефтедобычи в среднем за последнее пятилетие наблюдений составило 0,8 мг/дм³.

Таблица 5.20

Статистические показатели концентрации ионов аммония в поверхностных водах на участках нефтедобычи ХМАО–Югры

Год	Кол-во измерений	min, мг/дм ³	max, мг/дм ³	M, мг/дм ³	Me, мг/дм ³	Кол-во измерений с превышением ПДК, %
2006	2265	<0,02	35,3	1,5	1,1	74,4
2007	5218	<0,02	50	1,1	0,7	59,1
2008	5080	<0,02	30	0,8	0,5	49,9
2009	4579	0,02	23	1,0	0,7	62,9
2010	4889	<0,02	33	0,83	0,55	54,9
2011	3395	<0,02	17,3	0,89	0,58	56,8

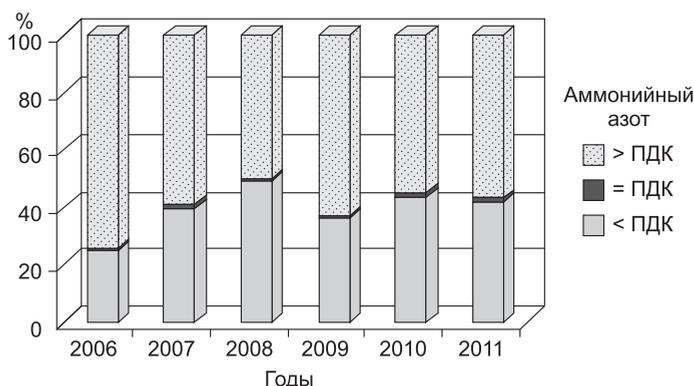


Рис. 5.24. Соответствие поверхностных вод на лицензионных участках ХМАО–Югры уровню ПДК_{вр} по содержанию аммонийного азота

Ранее, в период 2001–2003 гг., в Оби фиксировались концентрации аммонийного азота, составляющие в среднем 0,98–1,16 мг/дм³ [142]. В период 2003–2007 гг. на широтном отрезке Оби средняя концентрация составила 1,3 мг/дм³ [251]. Таким образом, современные показатели свидетельствуют о некотором сокращении содержания аммонийного азота. Выше по течению, в Томской области, концентрации NH₄⁺ в водах Оби обычно составляли 0,1 мг/дм³, но в некоторых точках достигали 0,7 мг/дм³ [246].

Распределение аммонийного азота в водных объектах в значительной степени зависит от условий формирования стока, особенно от заболоченности водосборов. Отмечалось, что воды верховых болот содержат NH₄⁺ в среднем около 2,58 мг/дм³, переходных – 1,86 мг/дм³ [182]. Поэтому неслучайно повышен уровень NH₄⁺ в реках, сток которых формируется на водосборах со значительной заболоченностью (Большой Балык, Большой Салым, Ватинский Еган, Лямин). Низкое содержание аммонийного азота выявлено в низовьях р. Иртыш, основной объем стока которого формируется на пределах таежной зоны (табл. 5.21).

Особенно активно аммонийный азот поступает в водные объекты лесоболотных ландшафтов с сочетанием заболоченных лесов, верховых и переходных болот. Отмечалось, что на границе болотных и лесных ландшафтов происходит наиболее интенсивное насыщение поверхностных вод различными неорганическими и органическими веществами [192]. Эта закономерность проявляется в небольших по объему стока реках и малых озерах, что приводит к формированию вод с содержанием аммония на уровне 2–5 мг/дм³. В результате отмечен ряд лицензионных участков (Восточно-Правдинский, Тончинский, Биттемский и др.), где среднее содержание NH₄⁺ превышает 2 мг/дм³ (табл. 5.22).

Таким образом, активная миграция аммонийного азота в лесоболотных ландшафтах – основная причина повышенного содержания NH₄⁺ в поверхностных водах. Вместе с тем определенный вклад вносит и антропогенная составляющая, о чем наглядно свидетельствуют данные мониторинговых работ. Воздействие азотосодержащих стоков от промыш-

Таблица 5.21

**Содержание аммонийного азота, мг/дм³, в водах Оби
и крупнейших притоков на территории ХМАО–Югры, 2009–2011 гг.**

Водный объект	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>Me</i>	min–max
р. Аган	697	1,32	0,88	0,04–15,3
р. Большой Балык	150	1,72	1,21	0,15–5,3
р. Большой Салым	86	1,79	1,14	0,09–7,25
р. Большой Юган	66	1,37	1,16	0,07–4,0
р. Ватинский Еган	610	2,07	1,03	0,05–50,2
р. Вах	1087	0,97	0,79	0,05–7,8
р. Гун-Еган	188	1,66	0,69	0,04–15,0
р. Иртыш (в пределах ХМАО)	70	0,26	0,15	0,08–1,9
р. Конда	112	0,57	0,5	0,09–3,32
р. Куль-Еган	148	1,53	1,2	0,02–6,7
р. Малый Балык	160	1,54	1,13	0,06–5,54
р. Нонг-Еган	228	1,07	0,86	0,04–5,4
р. Обь (в пределах ХМАО)	1220	0,89	0,61	0,05–11,1
прот. Юганская Обь	154	0,92	0,83	0,05–3,8
р. Пим	314	1,26	1,0	0,1–5,9
р. Пыть-Ях	105	1,72	1,36	0,26–7,8
р. Тромъеган	212	1,16	0,91	0,05–4,7
р. Черная	33	1,19	0,75	0,2–5,9
Всего по ХМАО	24061	0,73	0,5	0,01–52,1

Таблица 5.22

**Участки нефтедобычи с максимальным содержанием
аммонийного азота в поверхностных водах (2009–2011 гг.)**

Месторождение	<i>M</i> , мг/дм ³	<i>n</i>	Водные объекты	Недропользователь
Восточно-Правдинское	4,2	2	Реки Каркатеевская, Малая Тепла	ООО “Роснефть–Юганскнефтегаз”
Тончинское	3,7	9	оз. Тойхлор, р. Минчимкина	НГДУ “Сургутнефть”
Биттемское	3,1	21	оз. Неримлор, Пупилор, р. Санкиинкъяун	НГДУ “Нижнесортымскнефть”
Солкинское (северная часть)	3,0	7	Реки Вынга, Ионина, Обь	НГДУ “Быстринскнефть”
Восточно-Салымское	2,7	9	Реки Самсоновская, Тукан, Тарасап, Березовая, оз. Соровское	ООО “Роснефть–Юганскнефтегаз”
Маслиховское	2,5	11	р. Коутлыгыт	НГДУ “Лянторнефть”
Ларкинское	2,4	9	р. Ай-Котунтур, оз. Михпаинглор	НГДУ “Лянторнефть”
Кудринское	2,1	20	Реки Пыть-Ях, Малый Балык	ООО “Роснефть–Юганскнефтегаз”

ленных и селитебных объектов проявляется на многих месторождениях. В результате формируются воды, содержащие аммонийный азот в концентрациях, превышающих ПДК в десятки раз. Так, в устье р. Вырсь-Ега (Правдинское месторождение, разрабатываемое ООО “Роснефть–Юганскнефтегаз”) в 2009 г. было зафиксировано превышение ПДК_{вр} более чем в 40 раз. Здесь же, в непосредственной близости от куста скважины, аномально высокая концентрация была зафиксирована и в 2011 г. В 2010 г. наиболее загрязненными аммонийным азотом были реки Вадельпского и Западно-Салымского месторождений (Нефтеюганский филиал компании “Салым Петролеум Девелопмент”), а также Самотлорского месторождения (ОАО “Самотлорнефтегаз”) (табл. 5.23). Расположение пунктов мониторинга позволяет идентифицировать техногенные источники загрязнения, к которым относятся главным образом кусты скважин. В 2008–2009 гг. были зафиксированы случаи многократного превышения ПДК на территории Федоровского и Холмогор-

Таблица 5.23

Выявленные случаи аномально высокого содержания аммонийного азота в поверхностных водах ХМАО–Югры (превышение ПДК в 20 раз и более)

Место-рождение	Недропользователь	Кон-центрация, мг/дм ³	Превы-шение нормати-ва, раз	Водный объект	Расположение пункта мони-торинга
<i>2009 г.</i>					
Правдинское	ООО “Роснефть–Юганскнефтегаз”	21,6	43,2	р. Вырсь-Ега	Устье реки, в непосредственной близости от куста скважин
<i>2010 г.</i>					
Западно-Салымское	Нефтеюганский филиал компании “Салым Петролеум Девелопмент”	10,98	21,96	р. Кинчъях	На выходе с территории месторождения
<i>2011 г.</i>					
Федоровское	ОАО “Сургутнефтегаз”, НГДУ “Федоровскнефть”	17,3	34,6	р. Моховая	Район нефтеловушки
Биттемское	НГДУ “Нижнесортымскнефть”	16,7	33,4	оз. Пупилор	220 м юго-западнее куста скважин
	НГДУ “Нижнесортымскнефть”	11,7	23,4	р. Санкинкьяун	Вход на месторождение
Холмогорское	ОАО “Газпромнефть–Ноябрьскнефтегаз”	10,5	21	р. Ай-Юх-кунингяун	Исток, вблизи куста скважин
Правдинское	ООО “Роснефть–Юганскнефтегаз”	10,14	20,28	р. Вырсь-Ега	Устье реки, в непосредственной близости от куста скважин

ского месторождений, повторившиеся в 2011 г. Также в 2011 г. экстремальные значения были отмечены в водных объектах Биттемского месторождения (НГДУ “Нижнесортымскнефть”).

Нитраты появляются в воде при окислении органических веществ под действием бактерий. Среднее содержание нитратов в реках ХМАО составляет 0,73 мг/дм³, величина медианы – 0,45 мг/дм³ [18]. Таким образом, уровень содержания нитратов в речных водах ХМАО значительно превышает среднемировой показатель, составляющий 0,2 мг/дм³ [262]. Динамика нитратов носит сезонный характер. В зимний период концентрация нитратов увеличивается, а в летний – снижается за счет потребления их водной биотой. Следует отметить, что содержание нитратов в реках ХМАО меньше, чем на сопредельных территориях. К примеру, в Томской области среднее содержание нитратов в Оби и притоках составляет 2,4–3,3 мг/дм³ [246, 248]. Это является свидетельством того, что часть нитратов поступает в поверхностные воды ХМАО за его пределами, в более южных районах с высокой плотностью населения и развитым сельским хозяйством, с повышенной биогенностью природных вод.

По данным мониторинговых наблюдений, на месторождениях ХМАО содержание нитратов изменяется от нулевых значений до нескольких десятков миллиграммов на кубический дециметр. Среднее по округу содержание в последние годы менялось от 0,5 до 0,9 мг/дм³, величина медианы – от 0,3 до 0,5 мг/дм³ (табл. 5.24). Как правило, содержание нитратов в поверхностных водах ХМАО не превышает 1 мг/дм³. Уровень ПДК (40 мг/дм³) превышен не был. Таким образом, содержание нитратов соответствует экологическим нормативам, установленным для водоемов рыбохозяйственного значения.

Низкое содержание нитратов отмечено в реках, протекающих по водосборам с доминированием в ландшафтной структуре верховых олиготрофных болот, – Лямин, Пим, Ватинский Еган, Конда, Аган. Левые притоки Оби, протекающие в южной полосе среднетаежной подзоны, в условиях большей теплообеспеченности (Большой Юган, Большой Салым, Малый Балык) отличаются повышенным содержанием нитратов

Таблица 5.24

**Статистические показатели содержания нитратов
в поверхностных водах ХМАО–Югры**

Год	Кол-во измерений	min, мг/дм ³	max, мг/дм ³	<i>M</i> , мг/дм ³	<i>Me</i> , мг/дм ³	Кол-во измерений с превышением ПДК, %
2006	1966	<0,01	81	0,9	0,5	0,05
2007	4573	<0,01	43	0,6	0,3	0,02
2008	5143	<0,01	19,8	0,7	0,3	0
2009	4625	<0,01	15,53	0,5	0,3	0
2010	4891	<0,01	25	0,60	0,3	0
2011	3398	<0,01	13,5	0,62	0,37	0

Таблица 5.25

**Среднее содержание нитратов, мг/дм³, в водах Оби
и крупнейших притоков на территории ХМАО–Югры, 2009–2011 гг.**

Река	<i>M</i>	<i>Me</i>	<i>n</i>
Обь	1,03	0,65	460
<i>Основные притоки</i>			
Аган	0,32	0,22	109
Большой Балык	1,61	1,43	119
Большой Салым	1,59	1,41	68
Большой Юган	1,63	1,62	58
Ватинский Еган	0,38	0,29	114
Вах	0,34	0,28	169
Иртыш (в пределах ХМАО)	0,62	0,34	38
Конда	0,35	0,32	110
Лямин	0,21	0,20	30
Малый Балык	1,66	1,48	99
Малый Салым	1,48	1,21	98
Пим	0,41	0,18	100
Тромъеган	0,70	0,31	68
<i>Реки с максимальным содержанием нитратов</i>			
Сурьяха	4,59	2,21	21
Сэккынгьяха	4,17	3,48	14
Потымец	3,69	0,86	10
Лабытвор	2,41	1,22	31
Большой Варъеган	2,14	0,93	21

относительно среднерегионального уровня (табл. 5.25). В реках Сурьяха и Сэккынгьяха (Киняминское месторождение), принадлежащих бассейну р. Малый Юган, среднее содержание нитратов в последнее трехлетие составило более 4 мг/дм³. В Оби среднее содержание нитратов на участках нефтедобычи составляет около 1 мг/дм³, что значительно превышает значения, отмеченные на створах Нижневартовска и Сургута в конце 1990-х гг., где в период открытой воды средние за год значения изменялись в пределах 0,07–0,19 мг/дм³ [230].

На территории округа максимальным содержанием нитратов характеризуются Киняминское, Каменное, Западно-Угутское, Кудринское, Правдинское, Родниковое месторождения (табл. 5.26). Большинство из них расположено в южной части округа и отличается средней степенью техногенной нагрузки. Отчетливо выражена сезонная динамика нитратов. Так, в водных объектах Каменного месторождения содержание нитратов в конце ледового периода почти на один порядок превышает содержание в период половодья, что, очевидно, объясняется поступлением нитратов с грунтовыми водами, прошедшими через поверхностные горизонты почв и обогащенные органикой. Маломинерализованные

Таблица 5.26

Месторождения ХМАО–Югры с максимальным средним содержанием нитратов в поверхностных водах (2009–2011 гг.)

Место-рождение	<i>M</i> , мг/дм ³	<i>n</i>	Водные объекты	Недропользователь
Киньяминское	4,42	35	Реки Сурьяха, Сэккынгьяха	ООО “Роснефть–Юганскнефтегаз”
Каменное	3,03	36	прот. Ендырская, реки Сеуль, Хаимьяга	ОАО “ТНК–Нягань”
Западно-Угутское	2,22	16	Реки Большой Балык, Ванкырьягун	ООО “Роснефть–Юганскнефтегаз”
Кудринское	2,17	28	Реки Пыть-Ях, Малый Балык	
Правдинское	2,09	72	Реки Большой Варьеган, Пойк, Мохкотьега, прот. Большая Юганская	
Родниковое	2,03	43	Реки Тромъеган, Сегут-Ягун, Ульт-Ягун	ОАО “Сургутнефтегаз”–НГДУ “Комсомольскнефть”
Чупальское	2,03	15	Реки Тапатьяга, Куимьяга, Большой Салым	ООО “Роснефть–Юганскнефтегаз”

талые воды, аккумулирующие загрязнители, поступающие атмосферным путем в холодный период года (ноябрь–март), характеризуются низким содержанием нитратов. Таким образом, поступление нитратов зависит прежде всего от природных и в меньшей степени – от антропогенных факторов.

Уровень содержания органических веществ в поверхностных водах характеризует показатель биологического потребления кислорода – БПК, который показывает темп использования O₂ микроорганизмами на окисление соединений азота, выделяющегося при разрушении органических веществ. Реки таежной зоны Западной Сибири характеризуются высоким содержанием растворенного и взвешенного органического вещества [167], поэтому показатель БПК зачастую превышает нормативное значение. Согласно “Перечню рыбохозяйственных нормативов”, ве-

Таблица 5.27

Статистические показатели значения БПК_{полн} в поверхностных водах ХМАО–Югры

Год	Кол-во измерений	min, мгO ₂ /дм ³	max, мгO ₂ /дм ³	<i>M</i> , мгO ₂ /дм ³	<i>Me</i> , мгO ₂ /дм ³	Кол-во измерений с превышением ПДК, %
2006	1864	<0,5	13,6	3	2,8	43,3
2007	4398	<0,5	13,6	2,6	2,5	24,5
2008	2814	<0,5	10,5	2,6	2,6	26,2
2009	3112	<0,5	11,31	2,6	2,4	23,4
2010	4564	<0,5	10,34	2,5	2,4	14,4
2011	1372	0,53	12,11	2,3	2,3	9,5

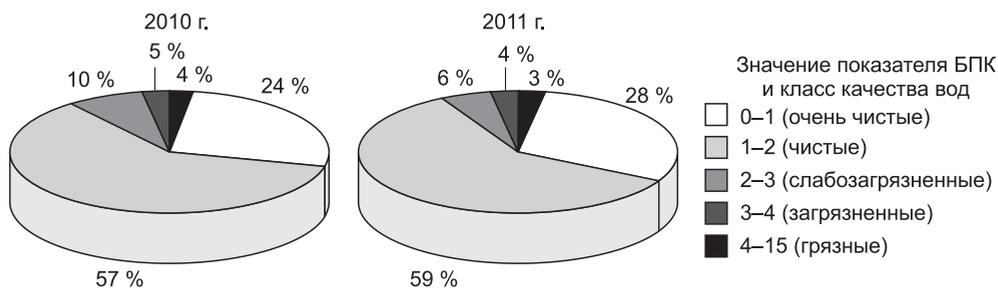


Рис. 5.25. Распределение поверхностных вод по классам качества в зависимости от величины БПК

личина $\text{БПК}_{\text{полн}}$ не должна превышать $3,0 \text{ мг/дм}^3$. По данным многолетних наблюдений, величина показателя БПК в реках таежной зоны Западной Сибири меняется в пределах от $0,5$ до $4,0 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ [18].

Среднее за год значение показателя ХМАО изменялось в последние годы наблюдений от $2,5$ до $3,0 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$, значение медианы – от $2,4$ до $2,8 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ (табл. 5.27). Различия между средним арифметическим и медианой невелики, статистический анализ значений свидетельствует о нормальном характере распределения. БПК – довольно стабильный по-

Таблица 5.28

Месторождения ХМАО–Югры с максимальным средним значением показателя $\text{БПК}_{\text{полн}}$ в поверхностных водах (2009–2011 гг.)

Месторождение	$M, \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$	Водный объект	Недропользователь
Чистинное	4,80	Безымянный ручей	ОАО «Славнефть–Мегионнефтегаз»
Южно-Покамасовское	4,26	Реки Большой Покур, Катесовский Еган, Васыгигль	
Водораздельное	4,06	Реки Обь, Охлым, Нижняя Воронинская	ЗАО «Ханты-Мансийская нефтяная компания»
Южно-Сургутское	3,87	Реки Обь, Большой Юган, протоки Кривая, Юганская Обь, Сырой Аган	ООО «Роснефть–Юганскнефтегаз»
Омбинское	3,40	Протоки Очимкина, Тангинская, Лакымпасл	
Средне-Балыкское (основная часть)	3,36	Реки Ай-Яун, Пыть-Ях	
Западно-Эргинское	3,36	р. Конда	ООО «Конданефть»
Каменный лицензионный участок Красноленинского месторождения	3,34	Реки Обь, Ендырская, Сеуль, протоки Ермалкино, Ендырская	ТПП «Урайнефтегаз», ООО «Лукойл Западная Сибирь»
Петелинское	3,34	Реки Устинкина, Тепла, Ляркина	ООО «Роснефть–Юганскнефтегаз»
Мамонтовское	3,29	Реки Большой Балык, Ай-Яун, Пыть-Ях, Пучил-Игый	

казатель, однако в последнее трехлетие проявляется тенденция к постепенному снижению.

В соответствии с ГОСТ 17.1.2.04–77, к чистым относятся воды с величиной БПК_{полн} не более 2 мгО₂/дм³; диапазон 2–4 мгО₂/дм³ характеризует загрязненные воды; при величине БПК больше 4 мгО₂/дм³ воды относятся к грязным. На месторождениях ХМАО значения показателя БПК в последние годы изменялись в пределах от <0,5 до 12 мгО₂/дм³. Таким образом, по величине БПК воды относятся к широкому спектру градаций, от очень чистых до грязных. Преобладали слабозагрязненные воды с величиной БПК от 2 до 3 мгО₂/дм³ (β-мезосапробность) (рис. 5.25).

Максимальные значения показателя БПК в последние годы отмечены в водных объектах, дренирующих следующие месторождения: Чистинное, Южно-Покамасовское, Водораздельное, Южно-Сургутское и др. (табл. 5.28).

Не наблюдается соответствия списков участков с максимальными средними значениями и участков, где выявлены разовые аномально высокие концентрации. Так, случаи разовых “всплесков” наиболее часто фиксировались на Салымском, Приобском, Правдинском месторождениях (табл. 5.29).

Таблица 5.29

Выявленные случаи максимального превышения норматива БПК_{полн} в поверхностных водах на участках нефтедобычи ХМАО

Месторождение	Недропользователь	Значение показателя, мгО ₂ /дм ³	Водный объект	Расположение пункта мониторинга
Салымское (Лемпинская площадь)	ООО “Роснефть–Юганскнефтегаз”	12,11	р. Большой Салым	В районе населенного пункта Лемпино, ниже межпромыслового нефтепровода
Правдинское		12,07	р. Мохкотъега	Устье реки, в непосредственной близости от куста скважин
Салымское	ОАО МПК “Аганнефтегазгеология”	11,64	р. Тыв-Ега	300 м восточнее ДНС-1
Приобское		10,47	р. Обь	На выходе с участка
Рославльское		10,0	р. Ларкнаеган	Ниже автодороги на с. Варьеган
Мамонтовское		10,34	р. Энталь-Энкаигль	Вблизи юго-восточной границы на реке
Петелинское		10,24	р. Тепла	500 м севернее куста скважин
Приобское		9,95	р. Елыково	Вход на месторождение
Приразломное		10,2	р. Большой Салым	Нижнее течение, у населенного пункта Белый Яр
Средне-Балыкское (основная часть)		10,11	р. Пыть-Ях	Северная часть месторождения, ниже пересечения железной дороги

Тяжелые металлы

Свинец. Средняя концентрация свинца в пресных водах земного шара оценивается от 1 [273] до 5 мкг/дм³ [Jenkins, 1981. Цит. по: 266]. ПДК свинца для водоемов хозяйственного использования составляет 30 мкг/дм³, а для водоемов рыбохозяйственного значения – 6 мкг/дм³.

В 2010–2011 гг. среднее содержание в водах рек на участках распределенного фонда недр ХМАО составляло 2,7 и 2,9 мкг/дм³ соответственно. Превышение ПДК отмечено соответственно в 6,5 и 9,8 % проанализированных проб. Таким образом, для поверхностных вод ХМАО характерны невысокие концентрации этого элемента, не превышающие среднемировые значения, а случаи загрязнения наблюдаются довольно редко. Тем не менее свинец, считающийся одним из наиболее опасных загрязнителей, индицирует загрязнение отходами бурения и служит индикатором техногенеза. В ранних работах [103, 104] содержание свинца в пробах воды Оби и притоков было определено на уровне аналитического нуля. Позднее, в работе Н.А. Добежиной [69] концентрация свинца в воде Оби и притоков оценена на уровне 3 мкг/дм³. Исследования С.В. Темерева [222] выявили содержание свинца в Оби на уровне 1,3–6,9 мкг/дм³. Как свидетельствуют результаты современного мониторинга, в р. Обь среднее содержание свинца составляет 4,1 мкг/дм³. Таким образом, теперешний уровень Pb превышает уровень, типичный для доиндустриального этапа развития региона. Содержание свинца в водах рек требует дальнейшего контроля. Следует отметить, что в протоках Оби, в частности протоке Юганская Обь, содержание этого эле-

Таблица 5.30

Среднее содержание микроэлементов, мкг/дм³, в водах Оби и крупнейших притоков на территории ХМАО–Югры, 2009–2011 гг.

Водный объект	Pb		Cu		Ni		Zn		Hg	
	<i>M</i>	<i>n</i>								
р. Обь	4,1	451	4,5	451	2,5	316	13,6	451	0,012	428
р. Аган	4,2	108	3,1	106	4,7	77	10,6	107	0,014	107
р. Большой Балык	3,0	119	8,9	119	3,2	92	10,1	119	0,008	119
р. Большой Салым	3,7	68	4,8	68	2,8	48	11,7	68	0,005	68
р. Большой Юган	6,8	60	7,1	60	9,7	46	15,5	60	0,005	58
р. Ватинский Еган	6,0	123	2,3	114	4,2	84	13,6	115	0,011	123
р. Вах	3,0	165	6,9	169	3,1	116	17,8	170	0,016	155
р. Иртыш	1,5	38	8,6	38	1,0	32	11,3	38	0,006	35
р. Конда	2,1	109	5,7	109	1,4	84	11,0	109	0,011	101
р. Лямин	1,2	30	1,7	30	1,1	23	8,8	30	0,012	33
р. Малый Балык	3,7	101	4,0	101	9,1	71	7,7	99	0,004	99
р. Малый Салым	4,2	98	5,6	98	2,3	70	15,6	98	0,005	98
р. Пим	1,5	100	4,0	99	1,9	71	21,4	100	0,014	99
р. Тромъеган	1,6	59	9,6	59	2,1	42	25,5	60	0,016	58
прот. Юганская Обь	9,2	104	9,7	97	5,4	74	8,9	99	0,005	100

мента превышает содержание в главном русле, что связано со значительным поступлением органических веществ, с которыми свинец образует комплексные соединения. Из крупных притоков Оби повышенное содержание свинца выявлено в реках Большой Юган и Ватинский Еган (табл. 5.30). Низкие концентрации характерны для рек, протекающих по участкам с доминированием верховых сфагновых болот, – Лямин, Пим, Тромъеган, где контакт атмосферных осадков с минеральной толщей грунтов непродолжителен, а также характерно интенсивное накопление болотной растительностью с аккумуляцией в торфе.

Медь. Содержание меди в водоемах рыбохозяйственного назначения регламентируется величиной ПДК, равной 1 мкг/дм³. Этой же величиной оценивается среднее содержание растворенных форм меди в реках земного шара [273]. Судя по литературным источникам, в начальный период освоения нефтяных месторождений Западной Сибири (1960-е гг.) содержание меди превышало здесь среднемировые показатели, хотя наблюдались значительные различия в разные гидрологические сезоны. Так, в Оби содержание меди было определено на уровне 2,4–21 мкг/дм³ [104]. В начале 1990-х гг. уровень концентрации ионов меди в р. Обь был оценен как повышенный, концентрация меди составляла 3 мкг/дм³ (3 ПДК) [280]. В период 1994–1998 гг. среднее содержание меди в воде р. Обь менялось от 0,22 до 5,9 мкг/дм³ (0,22–5,9 ПДК) [230]. По данным Обь-Иртышского территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, наблюдается повсеместное превышение ПДК_{вр} по меди в среднем в 6 раз [69].

По другим оценкам, фоновым уровнем в Оби и притоках считается концентрация 3–4 мкг/дм³ [75, 230, 246, 248]. Таким образом, среднее содержание меди в природных водах в 3–4 раза выше нормативного значения. Повышенными относительно среднего уровня концентрациями меди отличаются реки Обь и Тромъеган [18].

Согласно данным мониторинга, выполняемого на месторождениях ХМАО–Югры, концентрация меди в реках изменяется в очень широких пределах – от менее 1 мкг до нескольких миллиграммов в 1 дм³. В 2010–2011 гг. содержание меди составило в среднем 3,5 и 3,6 мкг/дм³, что соответствует показателям, выявленным для фоновых условий в реках таежной зоны Западной Сибири. Величина медианы (2 мкг/дм³) остается стабильной в период 2007–2011 гг. При анализе содержания меди в водах Оби и притоков вне границ лицензионных участков было определено, что содержание Cu составляет в среднем 4,2 мкг/дм³, что очень близко к данным на участках нефтедобычи. Это свидетельствует о преимущественно природных источниках поступления этого микроэлемента в поверхностные воды.

Распределение меди по водным объектам меняется в несколько раз, в зависимости от геологических, ландшафтных, гидрологических условий водосборных бассейнов. Из крупных притоков Оби повышенный уровень наблюдается в реках Тромъеган, Большой Балык, Иртыш, прот. Юганская Обь (см. табл. 5.30).

Интенсифицируют ли процессы техногенеза поступление меди в природные воды? К сожалению, однозначный ответ на этот вопрос дать нельзя. Хотя медь мигрирует в почвенной толще вместе с легкими фракциями углеводородов [40], проведенные нами исследования состава донных осадков в районе буровых работ на месторождениях Среднего Приобья не выявили роста концентраций по ходу эксплуатации промысла.

На раннем этапе освоения природных ресурсов Западной Сибири гидрохимические исследования показали, что в р. Вах (устье) содержание Cu в среднем составляет $3,4 \text{ мкг/дм}^3$ [103]. В настоящее время в Вахе содержание меди примерно в 2 раза выше ($6,9 \text{ мкг/дм}^3$). Однако малый объем данных, по которым сделано обобщение в работах 1968 г., не позволяет с достоверностью говорить о закономерном возрастании содержания меди в связи с усилением антропогенного влияния.

Никель часто рассматривается в качестве индикатора нефтяного загрязнения, поскольку его концентрация в нефти (в пересчете на зольный остаток) значительно выше, чем в горных породах и почвах. Фоновые концентрации никеля в поверхностных водах составляют $2\text{--}3 \text{ мкг/дм}^3$ [170]. Отмечалось, что в речных водах Тюменской области концентрация никеля изменяется от $0,8$ до 16 мкг/дм^3 [75]. Содержание никеля в водных объектах лимитируется $\text{ПДК}_{\text{вр}} = 10 \text{ мкг/дм}^3$. Химические свойства никеля, в том числе его подвижность в различных ландшафтных условиях, сходны со свойствами железа.

Данные мониторинга на месторождениях ХМАО–Югры свидетельствуют, что содержание никеля изменяется в широких пределах, от аналитического нуля до сотен микрограммов в 1 л.

Среднегодичное содержание никеля подвержено вариациям. Так, после начала регулярных замеров в 2004 г. среднегодовое значение менялось от $3,2$ до 8 мкг/дм^3 . В последнее трехлетие среднее значение было довольно низким ($3\text{--}5 \text{ мкг/дм}^3$). Величина медианы стабильно изменялась от 2 до 4 мкг/дм^3 . Превышение уровня ПДК было отмечено примерно в 3 % проб. В р. Обь средняя концентрация составляет $2,5 \text{ мкг/дм}^3$ и превышает уровень, выявленный выше по течению в Томской области: здесь никеля содержится $0,8\text{--}1 \text{ мкг/дм}^3$ [190, 248]. Возможно, рост концентрации на территории ХМАО–Югры связан с нефтяным загрязнением. Максимальные концентрации никеля были отмечены в реках Большой Юган, Малый Балык, в прот. Юганская Обь (см. табл. 5.30).

Цинк. В Западной Сибири повышенные количества цинка содержатся в воде рек, имеющих истоки на заболоченных водосборах. Это связано с увеличением подвижности цинка в кислой среде. В болотных ландшафтах биогенная активность цинка и меди падает, а водно-миграционная – увеличивается [151]. Фоновые концентрации цинка в поверхностных водах (среднемировые данные) оцениваются на уровне $20\text{--}30 \text{ мкг/дм}^3$ [216, 273]. Обобщенные данные мониторинговых наблюдений, проведенных на лицензионных участках нефтедобычи ХМАО за

период 1995–2006 гг., свидетельствуют, что содержание цинка в поверхностных водах менялось от аналитического нуля до 50 мкг/дм³ [18].

Высокая подвижность цинка, способность переходить в разные формы и накапливаться на геохимических барьерах приводят к тому, что концентрации этого элемента отличаются значительной вариабельностью как в пространстве, так и во времени. Различиями в ландшафтно-геохимических условиях водосборных площадей, как и различиями в уровне техногенной нагрузки, объясняется тот факт, что диапазон варьирования концентрации этого элемента в поверхностных водах региона весьма велик, от почти единицы до нескольких сотен и даже тысяч микрограммов в 1 дм³.

Существуют различные интерпретации фоновое уровня цинка в водах Оби и притоков. Согласно данным обобщения, проведенного в начале 1990-х гг., средняя концентрация цинка в Оби составляла 2,5 мкг/дм³ [280]. В работе Н.Л. Добежиной [69] средняя величина содержания цинка в воде рек Средне-Обского бассейна за период 1990–1999 гг. определена на уровне 10 мкг/дм³.

Данные современного мониторинга показывают, что среднее содержание цинка в поверхностных водах на участках распределенного фонда недр ХМАО–Югры составляет в разные годы наблюдений 12–17 мкг/дм³, величина медианы изменяется от 7 до 10 мкг/дм³.

Наблюдаются значительные различия в содержании цинка как по водным объектам, так и по гидрологическим сезонам. В р. Обь среднее значение составило 13,6 мкг/дм³ (см. табл. 5.30), что практически совпадает с данными, полученными в 1994–1998 гг., когда среднее за год содержание Zn в воде Оби достигало 11–19 мкг/дм³ [230]. В крупных притоках Оби среднее содержание меняется от 7,7 (р. Малый Балык) до 25,5 мкг/дм³ (р. Тромъеган). В реках, протекающих по наиболее заболоченным ландшафтам Сургутского Приобья (Пим, Тромъеган), содержание цинка повышено, что подтверждает факт высокой подвижности цинка в ландшафтах кислого глеевого класса. Повышено содержание цинка также в реках Вах и Ватинский Еган.

Ртуть. В поверхностные воды соединения ртути поступают в результате выщелачивания пород, со сточными водами и в процессе разложения накапливающих ее водных организмов. Фоновые концентрации ртути в поверхностных водах составляют 0,05–0,1 мкг/дм³ [170]. В соответствии с нормативом, установленным для водных объектов рыбохозяйственного значения, содержание ртути не должно превышать порог обнаружения (не более 0,01 мкг/дм³). Превышение уровня ПДК в период 2009–2011 гг. было зафиксировано в 18 % проанализированных проб. В водах р. Обь в период 1994–1998 гг. среднегодовое содержание ртути изменялось в пределах 0,019–0,034 мкг/дм³ [230]. На современном этапе (2009–2011 гг.) среднее значение заметно ниже и составило 0,012 мкг/дм³ (см. табл. 5.30). Таким образом, содержание ртути в Оби соответствует фоновым показателям.

Для выявления закономерностей формирования химического состава поверхностных вод округа, соотношения природных и техногенных источников поступления веществ был выполнен факторный анализ всей совокупности гидрохимических данных. Применялся R-метод главных компонент с варимаксным вращением корреляционной матрицы. При анализе нами было выделено пять основных факторов, определяющих закономерности формирования химического состава речных и озерных вод (табл. 5.31).

Таблица 5.31

Результаты факторного анализа массива гидрохимических данных (метод главных компонент)

Показатель	Факторные нагрузки				
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4	Фактор 5
pH	0,72	-0,21	-0,21	-0,13	-0,04
Взвешенные вещества	-0,03	0,18	-0,45	0,33	0,37
O ₂	-0,48	-0,43	0,19	0,11	0,00
БПК	0,17	-0,10	0,54	-0,16	0,03
Азот аммонийный	-0,29	0,58	-0,05	0,30	-0,10
Нитраты	0,32	0,57	-0,33	0,10	-0,08
Нитриты	0,24	0,43	-0,20	0,01	0,15
Нефтепродукты	-0,04	0,13	-0,04	-0,08	0,80
Фенолы	0,22	0,22	-0,27	-0,11	-0,39
Фосфаты	0,22	0,79	0,02	0,03	0,23
АПАВ	-0,02	-0,07	-0,61	0,05	-0,15
Прозрачность	-0,27	-0,24	0,41	-0,13	-0,28
Цветность	-0,10	0,87	-0,01	0,12	0,01
Жесткость	0,94	0,08	0,03	0,00	-0,10
HCO ₃ ⁻	0,92	-0,04	0,01	-0,03	0,08
SO ₄ ²⁻	0,46	0,08	0,24	0,03	0,12
Cl ⁻	0,07	0,11	-0,08	0,89	-0,02
Ca ²⁺	0,90	0,03	-0,01	0,01	0,08
Mg ²⁺	0,77	0,12	0,06	-0,01	-0,25
Si	-0,18	0,34	0,42	-0,29	-0,25
Na ⁺ + K ⁺	-0,03	0,08	0,12	0,82	0,00
Общая минерализация	0,80	0,08	0,03	0,52	0,02
ХПК	0,10	0,66	-0,31	0,42	-0,11
Fe	0,01	0,75	0,15	-0,12	0,06
Cu	-0,20	0,41	0,42	0,15	0,13
Mn	0,14	-0,16	0,64	0,26	-0,11
Zn	0,46	0,03	-0,08	-0,08	-0,43
Вклад фактора в общую дисперсию	5,50	3,99	2,29	2,42	1,52
Доля дисперсий главных компонент, %	20,36	14,78	8,48	8,98	5,62

Примечание. Выделены статистически значимые величины.

Установлено, что пять факторов ответственны за 58 % дисперсии. Первый фактор объединяет главные ионы поверхностных вод: гидрокарбонат-ион, ионы кальция и магния, а также связанные с ними общую минерализацию, жесткость и кислотность. Данный фактор определяется поступлением ионов из пород, на которых формируется водосбор, и зависит от зональных ландшафтных характеристик (поверхностные воды таежной зоны имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав). Второй по силе фактор объединяет железо, соединения азота и цветность. Таким образом, подтверждается высокая значимость железа как типоморфного элемента вод тайги Западной Сибири, а также факт формирования цвета воды в зависимости от содержания взвешенных и органоминеральных форм железа. Третий фактор не имеет ярко выраженного преобладания тех или иных показателей. Наибольшие факторные нагрузки характерны для марганца и биологического потребления кислорода, что позволяет интерпретировать этот фактор как фактор окислительно-восстановительного режима. Марганец в природных водах Западной Сибири выступает как сильный восстановитель, понижение концентрации ионов марганца в природных водах происходит в результате окисления $Mn(II)$ до MnO_2 . Четвертый фактор объединяет ионы хлора, а также сумму натрия и калия. Учитывая, что именно солевое загрязнение указанными ионами является одной из основных форм загрязнения при бурении и нефтедобыче, четвертый фактор необходимо интерпретировать как фактор солевого загрязнения, причем эти ионы не связаны корреляцией с другими главными ионами – гидрокарбонат-ионом, кальцием, магнием. Наконец, пятый по силе влияния фактор связан с поступлением в речные воды нефтепродуктов. Сила влияния этого фактора заметно меньше, чем других факторов (фактор определяет 5,6 % общей дисперсии). Различия факторов нефтяного и солевого загрязнения свидетельствуют о том, что эти вещества различаются источниками поступления и миграционными свойствами. Таким образом, состав вод определяется влиянием в первую очередь природных факторов, зависящих от ландшафтных условий. Однако техногенные факторы ощутимо воздействуют на состав вод. Вместе с тем проявление загрязнения может быть весьма краткосрочным, и при существующей системе мониторинга, когда пробы отбираются главным образом с периодичностью один раз в гидрологический сезон (либо реже), оно не будет зафиксировано при анализе поверхностных вод. Поэтому необходимо сочетание анализа природных вод с методами, позволяющими оценить загрязнение за длительный промежуток времени, в частности с анализом донных отложений.

5.3. Химический состав донных отложений

Определение состава донных отложений при анализе экологического состояния водоемов приобрело в настоящее время широкое распространение, поскольку дает возможность объективно оценить качество среды в водных экосистемах за продолжительный отрезок времени.

Длительный период аккумуляции приводит к концентрированию загрязнителей, и геохимические аномалии в донных отложениях часто более контрастны, чем аномалии в почвах. Подтверждением высокой информативной значимости донных отложений для оценки экологической ситуации является разработка нормативов содержания в них ряда химических элементов и соединений [271]. Нельзя упускать из виду и то обстоятельство, что донные отложения служат местом обитания бентоса – важного элемента пресноводных экосистем, составляющего главный источник питания для многих видов рыб и других организмов. Присутствие в донных осадках различных загрязнителей может негативно влиять на структуру и состав экосистем речного дна. Некоторые содержащиеся в донных отложениях химические вещества способны аккумулироваться в тканях водных организмов и представлять потенциальную опасность для тех, кто потребляет их в пищу, в том числе и для человека.

В нефтедобывающих регионах донные отложения эффективны при анализе загрязнения. Возможность использования подобной методики несомненна, поскольку определенная часть нефтяных углеводородов, попадая в воду, находится в диспергированном состоянии, постепенно оседая на дно [147]. Скорость бактериального разложения нефтяных углеводородов при низких температурах окружающей среды, свойственной водным объектам северной части Западной Сибири, весьма мала. Таким образом, в условиях замедленной биodeградации нефти исследование химического состава донных осадков дает достаточно объективную картину уровня загрязнения водных объектов за длительный промежуток времени.

Отмечалось, что на всем протяжении р. Обь в пределах ХМАО донные грунты загрязнены нефтепродуктами [230]. Грунты рек – североуральских притоков нижней Оби (Сыня, Сось, Щучья) по содержанию НУВ отнесены к категории чистых в истоке и слабозагрязненных в устье, отмечено довольно сильное загрязнение грунтов р. Ляпин [24]. Многочисленные исследования, выполненные научными и производственными организациями, убедительно свидетельствуют о широком диапазоне варьирования нефтепродуктов в донных отложениях водоемов Западной Сибири [24, 229, 230].

Разнообразие уровня техногенной нагрузки, литологических условий, особенностей седиментации формирует крайне разнообразные условия накопления нефтяных углеводородов в донных отложениях на территории ХМАО. Как свидетельствует обобщение данных геохимического мониторинга, проводимого на участках распределенного фонда недр ХМАО, содержание углеводородов (нефтепродуктов) в пробах донных отложений на современном этапе изменяется в очень широких пределах: от аналитического нуля (меньше 5 мг/кг) до десятков и сотен граммов в 1 кг сухого грунта (табл. 5.32).

Ранее отмечалось [139], что в конце 1990–начале 2000-х гг. наиболее часто на территории округа встречаются пробы донных отложений

Таблица 5.32

Статистические показатели содержания нефтяных углеводородов (нефтепродуктов) в пробах донных отложений на территории лицензионных участков ХМАО-Югры, 2005–2011 гг.

Год	Кол-во измерений	Концентрация, мг/кг		
		min	max	Средний показатель
2005	455	<5	31 304	459,8
2006	713	<5	69 225	441,7
2007	2222	<5	130 230	481,9
2008	1712	<5	46 578	416,7
2009	1622	<5	167 000	609,0
2010	1563	<5	64 952	452,7
2011	1384	<5	20 372	297,6

с концентрацией нефтепродуктов менее 25 мг/кг. В настоящее время к этому диапазону относится приблизительно 31 % проб. Примерно 50 % проанализированных образцов содержат нефтепродукты в количествах от 25 до 100 мг/кг. Однако на участках нефтедобычи довольно часто наблюдаются аномальные концентрации. Так, в р. Ватинский Еган среднее содержание нефтепродуктов в донных отложениях выше 1000 мг/кг. Нужно отметить, что Ватинский Еган дренирует территорию Самотлорского месторождения, на котором очень высока интенсивность техногенной нагрузки, чем и объясняется нефтезагрязненность водных систем. Таким образом, современный мониторинг, охватывающий практически все участки нефтедобычи, свидетельствует о довольно высоком уровне загрязнения донных отложений.

Интенсивное использование донных отложений при анализе нефтезагрязнения потребовало разработки и утверждения на региональном уровне соответствующего норматива (табл. 5.33).

При анализе данных мониторинга в соответствии со шкалой регионального норматива очевидно, что к безопасному уровню (менее 20 мг/кг) относится незначительное количество донных отложений (табл. 5.34). В 2005–2007 гг. состояние большей части донных экосистем характеризовалось как пороговое (концентрации НУВ в диапазоне 50–100 мг/кг) и как область нарастающего угнетения (100–500 мг/кг). В 2008–2010 гг. произошло снижение концентраций и большая часть проб содержала нефтепродукты в диапазоне 20–50 мг/кг. В то же время было отмечено очень мало участков речных русел, не затронутых нефтезагрязнением (концентрация НУВ менее 20 мг/кг).

В целом на участках нефтедобычи только 10 % проб донных отложений характеризуются как незагрязненные (с концентрацией нефтепродуктов менее 20 мг/кг) (рис. 5.26).

Нефтезагрязнение крупнейших рек на территории ХМАО достаточно разнородно. Чаще всего случаи экстремального загрязнения фиксировались на Самотлорском, Мамонтовском, Правдинском, Южно-Ба-

Таблица 5.33

Региональный норматив “Предельно допустимый уровень (ПДУ) содержания нефти и нефтепродуктов в донных отложениях поверхностных водных объектов на территории Ханты-Мансийского автономного округа–Югры”

Осредненные концентрации (массовая доля) нефтяных углеводородов в донных отложениях	Характеристика состояния донной экосистемы – биотического (бентического) сообщества
До 20 мг/кг	Не отмечается существенного изменения видового разнообразия и уровня показателей, характеризующих структуру и состояние биотического (бентического) сообщества донной экосистемы
20–50 мг/кг	Область нарастающих изменений в донной экосистеме, обедняющей ее биотические (бентические) сообщества
50–100 мг/кг	Пороговое состояние, видовая замена, выраженное обеднение донной экосистемы
100–500 мг/л	Область нарастающего угнетения донной экосистемы
500 мг/кг и более	Резкое угнетение донной экосистемы

Таблица 5.34

Распределение содержания углеводородов (нефтепродуктов) в донных отложениях водных объектов распределенного фонда недр ХМАО–Югры по градациям регионального норматива, 2005–2010 гг.

Концентрация, мг/кг	2005		2006		2007		2008		2009		2010	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Менее 20	49	10,8	65	9,1	257	11,6	104	6,1	198	12,2	139	8,9
20–50	67	14,7	110	15,4	414	18,6	474	27,7	413	25,5	424	27,1
50–100	106	23,3	219	30,7	665	29,9	483	28,2	354	21,8	394	25,2
100–500	171	37,6	226	31,7	607	27,3	424	24,8	371	22,9	444	28,4
Более 500	62	13,6	93	13,0	279	12,6	227	13,3	286	17,6	162	10,4
Всего	455	100	713	100	2222	100	1712	100	1622	100	1563	100

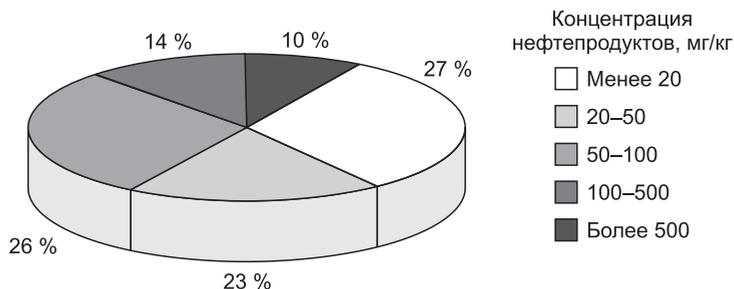


Рис. 5.26. Распределение донных отложений ХМАО–Югры по градациям содержания нефтепродуктов

лыкском месторождениях. Обобщенные данные по различным месторождениям приведены в табл. 5.35. Анализ свидетельствует, что на многих месторождениях часто наблюдается очень широкий диапазон варьирования: чистые участки русел характеризуются концентрациями менее 20 мг/кг, а на смежных с ними загрязненных участках концентрации НУВ составляют тысячи и десятки тысяч миллиграммов на 1 кг. Поэтому подсчет средних показателей при таком варьировании некорректен. В качестве основного критерия оценки избрано количество проб (в процентном отношении) с концентрацией более 5000 мг/кг, т. е. концентрацией, которая, согласно “Методическим рекомендациям по выявлению деградированных и загрязненных земель” (письмо Минприроды РФ от 15.02.1995), соответствует уровню очень высокого загрязнения.

Характерно, что список месторождений, в пределах которых максимален уровень нефтяного загрязнения поверхностных вод в 2009–2011 гг. (см. табл. 5.14), весьма схож с перечнем месторождений с наиболее загрязненными донными отложениями. В оба списка входят Северное, Средне- и Южно-Балыкское, Полуденное, Петелинское месторождения. Это подтверждает эффективность анализа донных отло-

Таблица 5.35

Месторождения ХМАО–Югры с повышенным уровнем нефтяного загрязнения донных отложений (2009–2011 гг.)

Месторождение	Недропользователь	Всего проанализировано проб	min	max	Число проб с концентрацией больше 5000 мг/кг	
					n	%
Южно-Балыкское	ООО “Роснефть–Юганскнефтегаз”	8	473	8511	3	38
Средне-Балыкское		6	556	9003	2	33
Северное	ОАО “Томскнефть–ВНК”	4	25	19 200	1	25
Пульгынское	ООО “Пульгынское”	6	40	11 888	1	17
Мамонтовское	ООО “Роснефть–Юганскнефтегаз”	55	80	33 437	8	15
Салымское		8	144	15 156	1	13
Полуденное	ОАО “Томскнефть–ВНК”	10	59	167 000	1	10
Малочерногорское	ОАО “Корпорация Югранефть”	10	244	64 952	1	10
Западно-Каюмовское	ООО “КНГ-добыча”	10	9	13 713	1	10
Самотлорское (северная часть)	ОАО “ТНК–Нижневартовск”	32	25	32 508	3	9
Петелинское	ООО “Роснефть–Юганскнефтегаз”	12	76	20 639	1	8
Ван-Еганское	ООО “СП Ваньеганнефть”	14	25	51 003	1	7
Самотлорское	ОАО “Самотлорнефтегаз”	134	25	49 497	9	7
Хохряковское	ОАО “Нижневартовское нефтегазодобывающее предприятие”	25	231	12 104	1	4

Таблица 5.36

**Статистические показатели содержания нефтепродуктов
в донных отложениях рек на распределенном фонде недр
ХМАО–Югры (2009–2011 гг.)**

Водный объект	<i>M</i>	<i>Me</i>	<i>n</i>
р. Обь	134	52	122
р. Аган	48	25	29
р. Большой Балык	2394	582	25
р. Большой Салым	439	511	11
р. Большой Юган	219	93	15
прот. Юганская Обь	271	210	24
р. Ватинский Еган	709	184	29
р. Вах	71	39	40
р. Ендырь	39	25	12
р. Иртыш	42	25	12
р. Конда	86	74	32
р. Малый Балык	682	278	25
р. Малый Салым	342	125	20
р. Пим	29	18	31
р. Северная Сосьва	119	25	15
р. Тромъеган	43	25	22
р. Устинкина	3946	364	6

жений для индикации нефтезагрязнения, несмотря на химико-аналитические проблемы идентификации техногенных углеводородов. Месторождения, которые разрабатываются длительное время и характеризуются большим количеством объектов техногенеза (Самотлорское, Мамонтовское), имеют высокие концентрации нефтепродуктов в донных отложениях, но уровень загрязнения поверхностных вод на среднем уровне. Это свидетельствует о снижении здесь нефтезагрязнения на современном этапе.

Среди крупнейших притоков Оби высоким уровнем загрязнения отмечена р. Большой Балык на участке, где река пересекает Мамонтовское месторождение (табл. 5.36).

Повышено содержание нефтепродуктов и в р. Малый Балык (Малобалыкское и Тепловское месторождения). Однако максимальная загрязненность выявлена в малых реках с небольшим расходом воды, низкой скоростью течения, где самоочистительный потенциал весьма низок. К ним относятся реки Устинкина (в пределах Петелинского месторождения), Тыв-Ега (Салымское месторождение), Пучил-Игый (Мамонтовское месторождение), Большой Варъеган (Правдинское месторождение), Большой Балык (Мамонтовское и Западно-Угутское месторождения), Ай-Яун (Среднебалыкское и Мамонтовское месторождения) (все участки разрабатываются ООО «Роснефть–Юганскнефтегаз»), Энтль-Ульеган (Хохряковское месторождение, ОАО «Нишневартовское НП»), озера Окунево и Самотлор (Самотлорское месторождение, ОАО «Самотлорнефтегаз»).

Заключение

В условиях интенсивного промышленного освоения севера Западной Сибири особое значение приобретает анализ структуры и динамики ландшафтно-геохимических комплексов, позволяющий эффективно оценить последствия загрязнения окружающей среды. Главными особенностями, определяющими формирование ландшафтно-геохимической структуры северной части Западной Сибири, являются низкое содержание большинства макро- и микроэлементов в почвообразующих породах, особенно песчаных породах ледникового и водно-ледникового генезиса, и обширная заболоченность, обуславливающая широкое распространение ландшафтов кислого глеевого класса, для которых свойственна интенсивная миграция многих химических элементов.

В зоне тундр на формирование ландшафтно-геохимической структуры преобладающее влияние оказывают замедленный темп биологического круговорота и контрастные условия литогеохимического фона. Вследствие широкого распространения песчаных аллювиально-морских и ледниковых отложений содержание большинства химических элементов в почвах тундр Западной Сибири понижено по сравнению с мировыми кларками. Относительно богатым составом отличаются суглинистые морские отложения. Миграционная активность элементов значительно варьирует в зависимости от ландшафтных условий. Наиболее активными мигрантами в системе геохимически сопряженных ландшафтов являются марганец, цинк, железо, медь.

В почвообразующих породах таежной зоны по отношению к кларку литосферы выделяются две группы элементов: содержание халькофильных (Cu, Zn, Pb) понижено, а сидерофильных (Ti, V, Cr, Ni, Co), напротив, повышено. На состав почв тайги значительное влияние оказывают процессы биологического накопления, что приводит к аккумуляции Pb, Mn, Zn, интенсивный вынос типичен для V, Cr, Sn, Co. Почвы участков с доминированием флювиогляциальных отложений обеднены большинством микроэлементов. Неблагоприятная биогеохимическая ситуация выявлена в Сургутском ландшафтно-геохимическом округе, где содержание микроэлементов в почвах значительно ниже почвенного кларка. В пространственном распределении показателей микроэлементного состава прослеживается своеобразная ступенчатость: относительное обогащение ландшафтно-геохимических комплексов макроповышений (увалов) и обеднение прилегающих к ним плоских заболоченных равнин, затем – вновь обогащение почв пойм и надпойменных террас крупных рек (Оби и Иртыша).

В почвах, сформировавшихся на песчаных породах, распределение элементов свидетельствует о слабой выраженности ландшафтно-геохи-

мических барьеров. В вертикальном профиле почв распределение микроэлементов зависит от их геохимических свойств. Выделяются две группы химических элементов: накапливающиеся в органогенных горизонтах (цинк, медь, свинец и кадмий) и мигрирующие из них (железо, кобальт, никель, хром). Таким образом, в минеральной толще преобладают сидерофильные элементы, а в органогенных горизонтах – халькофильные. Для сидерофильных элементов фактором обеднения почв является относительно высокая подвижность в водной среде, в то время как халькофильные накапливаются в почве из-за относительно невысокой водомиграционной активности и закрепления на биогеохимических барьерах. Для болотных верховых почв характерно низкое содержание элементов минерального питания растений. Главными особенностями состава торфа верховых болот Западной Сибири являются высокое содержание железа, марганца, хрома, малые концентрации кадмия.

Геохимическая трансформация ландшафтов на участках нефтедобычи представляет собой комплекс процессов, связанных как с поступлением веществ-загрязнителей, так и с нарушением природных биогеохимических циклов. Ассоциация загрязнителей определяется особенностями применяемых технологий, составом буровых растворов, пластовых вод, степенью механических нарушений. Индикаторами техногенеза выступают барий, стронций (при использовании баритовых глин в составе буровых растворов), свинец, никель. Часто к ним добавляются медь и цинк. В почвах с нарушенным органогенным горизонтом в вахтовых поселках, на участках внедорожного движения транспорта, площадках инженерных сооружений наблюдается снижение содержания биогенных марганца, цинка, фосфора. Радиальная и латеральная миграция становится причиной интенсивного поступления загрязнителей в соподчиненные звенья сопряженного миграционного ряда. Нарушения на участках техногенеза приводят к ослаблению биологического круговорота, вследствие этого возрастает миграционная активность многих микроэлементов, что находит отражение в увеличении концентраций в водах и донных отложениях. В особенности заметно увеличение при техногенезе содержания в донных осадках элементов, отличающихся интенсивным биологическим накоплением, – Zn, Mn, Cu, Pb. Отмечено, что повышенной концентрацией цинка и свинца отличаются воды озер, расположенных в непосредственной близости от пробуренных скважин. Исключение составляют никель и хром – элементы с низкими коэффициентами водной миграции.

Объекты нефтедобычи в случае несоблюдения принципов экологически безопасного природопользования являются источником нефтяного, солевого и азотного загрязнения. Холодный климат и замедленный сток определяют низкий самоочистительный потенциал геосистем. Уровень загрязнения является отражением комплекса факторов: интенсивности нефтедобычи, соблюдения природоохранных регламентов, показателей аварийности, уровня экологического контроля.

Индикаторным показателем интенсивности техногенеза выступает ионный состав поверхностных вод. Для рек, протекающих через участ-

ки интенсивной добычи нефти, характерно повышенное содержание хлоридов. Среднее за продолжительный период наблюдений содержание ионов Cl^- в водах рек и озер, подверженных техногенному воздействию, зачастую прямо пропорционально числу пробуренных скважин и площади техногенно-трансформированных геосистем. Зависимость концентрации хлоридов от интенсивности техногенеза проявляется как в бассейнах малых рек, так и в пределах целых водосборных площадей регионального уровня. Ретроспективный анализ показывает, что наметилась тенденция к постепенному снижению солевого загрязнения на месторождениях ХМАО–Югры. По сравнению с началом 2000-х гг. значительно уменьшилось число случаев экстремального солевого загрязнения с превышением ПДК. В период 2000–2008 гг. максимальное солевое загрязнение наблюдалось на территории Смотлорского месторождения (Нижневартовский район) в бассейне р. Ватинский Еган, где содержание хлоридов в зимний период превышало фоновый уровень на 2–3 порядка. В последние годы уровень солевого загрязнения здесь снизился. В 2009–2011 гг. максимальный уровень солевого загрязнения наблюдался в реках, протекающих по территории Нефтеюганского района, – Устинкина, Ай-Яун, Межевая, Суйка, на месторождениях, разрабатываемых ОАО “Роснефть–Юганскнефтегаз” (Южно- и Средне-Балыкское, Угутское, Петелинское).

Содержание нефтяных углеводородов в поверхностных водах на месторождениях ХМАО–Югры повышено по сравнению с фоновыми значениями, периодически наблюдается резкое возрастание, вызванное авариями. В условиях слабой биодegradации нефти в водной среде, характерной для северных районов Западной Сибири, зачастую наблюдается рост уровня загрязнения вниз по течению. Общая тенденция развития экологической ситуации, несмотря на существующие проблемы, в целом благоприятная. Содержание нефтепродуктов в поверхностных водах по сравнению с периодом 1970–1990-х гг. снизилось. Если в 1990-е гг. средняя концентрация нефтепродуктов в водах р. Обь и главных притоках обычно составляла 0,1–0,3 мг/дм³, то в последнее трехлетие среднее значение сократилось до 0,03 мг/дм³. Количество измерений, в которых зафиксировано превышение ПДК нефтепродуктов, снизилось с 27 % в 2006 г. до 5,1 % в 2011 г. Тем не менее регулярно наблюдаются аварийные разливы нефти, вызванные прежде всего коррозией на трубопроводах. Наибольшее число случаев поступления нефти в гидросеть, приводящее к значительному (в 10 раз и более) превышению ПДК, наблюдалось в последние годы на месторождениях, разрабатываемых ОАО “Роснефть–Юганскнефтегаз” (Средне-Балыкское, Южно-Балыкское, Правдинское, Приразломное), в реках Ай-Яун, Межевая, Мохкотъега. Далее по уровню аварийности следует ОАО “Томскнефть”. Остальные нефтяные компании допускают аварийное попадание нефти в водотоки крайне редко, и основная масса нефти поступает из диффузных источников, прежде всего из небольших по объему разливов на водораздельных участках.

Можно констатировать, что нефтедобыча продолжает оставаться одним из важнейших факторов, влияющих на состояние водных экосистем. Долголетнее загрязнение речных вод на территории округа дополняется загрязнением донных отложений нефтяными углеводородами. Приуроченность районов с повышенными концентрациями НУВ к местам интенсивной и длительной добычи нефти явно свидетельствует о происходящих процессах техногенного загрязнения. В этих условиях существует угроза утраты части природно-ресурсного потенциала, что усиливает необходимость контроля за соблюдением норм природопользования.

Данные эколого-геохимических исследований, без сомнения, являются важнейшим источником информации, позволяющим выявить основные тенденции изменения экологической ситуации на территории севера Западной Сибири, наметить пути ее оздоровления, оценить эффективность природоохранной стратегии крупнейших российских нефтедобывающих компаний.

Литература

1. *Аветов Н.А.* Автоморфные таежные почвы Среднеобской низменности / Н.А. Аветов, С.А. Аветян, Е.И. Дорофеева, С.Я. Трофимов // Почвоведение. – 2012. – № 7. – С. 728–734.
2. *Акульшина Е.П.* Методика определения условий выветривания, осадконакопления и постседиментационных преобразований по глинистым минералам / Е.П. Акульшина // Глинистые минералы как показатели условий литогенеза. – Новосибирск: Наука, 1976. – С. 9–37.
3. *Алекин О.А.* К вопросу о роли химического состава атмосферных осадков в формировании состава речных вод / О.А. Алекин // Тр. ЛГМИ. – 1970. – Вып. 39. – С. 140–148.
4. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии / О.А. Алекин. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
5. *Алексеев В.А.* Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых / В.А. Алексеев. – М.: Высш. шк., 1989. – 304 с.
6. *Алещукин Л.В.* Трансформация и формы аккумуляции металлов в тундровых почвах Европейского Севера / Л.В. Алещукин // Труды биогеохимической лаборатории. – Т. 21. Природные и антропогенноизмененные биогеохимические циклы. – М.: Наука, 1990. – С. 134–144.
7. *Андрейкина Л.В.* Состав, свойства и переработка попутных газов нефтяных месторождений Западной Сибири: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Л.В. Андрейкина. – Уфа: НИИРеактив, 2005. – 21 с.
8. *Антонович В.В.* Оценка качества воздуха нефтегазодобывающих районов / В.В. Антонович, Б.Д. Белан, В.И. Вавер и др. // Исследования эколого-географических проблем природопользования для обеспечения территориальной организации и устойчивости развития нефтегазовых регионов России: Теория, методы и практика. – Нижневартовск: НГПИ, ХМРО РАЕН, ИОА СО РАН, 2000. – С. 216–220.
9. *Арбузов С.И.* Среднее содержание некоторых элементов-примесей в торфах юго-восточной части Западно-Сибирской плиты / С.И. Арбузов, В.С. Архипов, В.К. Бернатонис и др. // Изв. Томск. политех. унта. – 2009. – Т. 315, № 1. – С. 44–48.
10. *Арестова И.Ю.* Оценка устойчивости тундровых экосистем с использованием геохимических и фитоиндикационных показателей / И.Ю. Арестова: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – СПб., 2003. – 20 с.
11. *Арестова И.Ю.* Эколого-геохимическая оценка состояния природной среды в районах нефтегазодобычи / И.Ю. Арестова, М.Г. Опекунова, А.Ю. Опекунов, С.Ю. Кукушкин // Геохимия биосферы: Докл. Междунар. науч. конф. Москва, 15–18 ноября 2006. – М.; Смоленск: Ойкумена, 2006. – С. 41–42.
12. *Архипов С.А.* Четвертичный период в Западной Сибири / С.А. Архипов. – Новосибирск: Наука, 1971. – 332 с.

13. *Архипов В.С.* Железо в торфах центральной части Западной Сибири / В.С. Архипов, В.К. Бернатонис, В.И. Резчиков // Почвоведение. – 1997. – № 3. – С. 345–351.
14. *Астахов В.И.* Геологические доказательства центра плейстоценового оледенения на Карском шельфе / В.И. Астахов // Докл. АН СССР. – 1976. – Т. 231, № 5. – С. 452–460.
15. *Атлас “Особо охраняемые природные территории и леса Ханты-Мансийского автономного округа–Югры”.* – Т. 2 / Гос. пр-тие ХМАО “Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В.И. Шпилемана”. – Ханты-Мансийск, 2006. – 120 с.
16. *Атлас Тюменской области.* – Вып. 1. – М.; Тюмень: ГУГК, 1971. – 216 с.
17. *Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа.* – Омск, 2004. – 303 с.
18. *Бабушкин А.Г.* Гидрохимический мониторинг поверхностных вод Ханты-Мансийского автономного округа–Югры / А.Г. Бабушкин, Д.В. Московченко, С.В. Пикунов. – Новосибирск: Наука, 2007. – 152 с.
19. *Базанов В.А.* Влияние шламовых амбаров на геохимическое состояние болотных экосистем в бассейне реки Васюган / В.А. Базанов, О.Г. Савичев, Д.В. Волостнов и др. // Изв. Том. политех. ун-та. – 2004. – Т. 307, № 2. – С. 72–75.
20. *Бачурин Б.А.* Идентификация нефтяной составляющей органического загрязнения гидросферы / Б.А. Бачурин // Водные ресурсы, геологическая среда и полезные ископаемые Южного Урала. – Оренбург: ОГУ, 2000. – С. 143–153.
21. *Бешенцев В.А.* Техногенез подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа / В.А. Бешенцев, В.М. Матусевич // Горные ведомости. – 2005. – № 4. – С. 70–81.
22. *Бикбулатов Э.С.* Методологические и методические проблемы оценки нефтяного загрязнения в природных водах / Э.С. Бикбулатов, Ю.В. Ершов, Е.М. Бикбулатова, И.Э. Степанова; отв. ред. Ф.Н. Рянский, С.Н. Соколов // Эколого-географические проблемы природопользования нефтегазовых регионов: Теория, методы, практика. – Нижневартовск, 2003. – С. 108–121.
23. *Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим.* – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 447 с.
24. *Бруссынина И.Н.* К изучению нефтяного загрязнения уральских притоков Нижней Оби / И.Н. Бруссынина, Ю.Г. Смирнов, Л.А. Добринская, В.И. Уварова // Изучение экологии водных организмов Восточного Урала: Сб. науч. трудов. – Свердловск: УрО РАН, 1992. – С. 3–19.
25. *Булатов В.И.* Нефть и экология: Научные приоритеты в изучении нефтегазового комплекса: Аналитический обзор / В.И. Булатов; ГПНТБ СО РАН, Югорский НИИ информ. технологий. – Новосибирск, 2004. – 155 с.
26. *Быков И.Ю.* Техника экологической защиты Крайнего Севера при строительстве скважин / И.Ю. Быков. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1991. – 238 с.
27. *Быстрых В.В.* Комплексная гигиеническая оценка накопления поллютантов атмосферного воздуха в депонирующих средах в зоне воздей-

- ствия газового комплекса / В.В. Быстрых, В.М. Боев, В.В. Зебзеев и др. // Исследования эколого-географических проблем природопользования для обеспечения территориальной организации и устойчивости развития нефтегазовых регионов России: Теория, методы и практика. – Нижневартовск: НГПИ, ХМРО РАЕН, ИОА СО РАН, 2000. – С. 259–262.
28. Вагнер Б.Б. Об особенностях гипергенной миграции рудных элементов в криолитозоне / Б.Б. Вагнер // Изв. вузов. Сер. “Геология и разведка”. – 1984. – № 7. – С. 85–89.
29. Валеева Э.И. Нефтяное загрязнение донных отложений рек Обского севера / Э.И. Валеева, Д.В. Московченко // Научные аспекты экологических проблем России: Тр. Всерос. конф., Москва, 13–16 июня 2001 г. / Под ред. Ю.А. Израэля. – Т. 2. – М.: Наука, 2002. – С. 396–400.
30. Василенко В.Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 181 с.
31. Васильевская В.Д. Почвообразование в тундрах Средней Сибири / В.Д. Васильевская. – М.: Наука, 1980. – 235 с.
32. Васильевская В.Д. Почвы севера Западной Сибири / В.Д. Васильевская, В.В. Иванов, Л.Г. Богатырев. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 286 с.
33. Васильевская В.Д. Антропогенные нарушения почвенного покрова в южной тундре Ямала и мероприятия по их предотвращению / В.Д. Васильевская, В.В. Крилишин // Вестн. МГУ. Сер. “Почвоведение”. – 1993. – № 4. – С. 3–9.
34. Вендров С.А. Влагооборот на равнинах Западной Сибири, его роль в формировании природы и пути преобразования / С.А. Вендров, И.П. Герасимов, Л.Ф. Куницын, М.И. Нейштадт // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1966. – № 5. – С. 3–17.
35. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 2001. – 376 с.
36. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 236 с.
37. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры / А.П. Виноградов // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
38. Вовк Ц.Л. Распределение ванадия, никеля и хрома в осадочных породах различного возраста / Ц.Л. Вовк // Сб. статей по геохимии осадочных пород: Тр. НИИ геологии Арктики. – Вып. 1. – Л., 1959. – С. 101–105.
39. Водяницкий Ю.Н. Сильная отрицательная геохимическая аномалия в верховых торфах средней тайги Среднего Приобья / Ю.Н. Водяницкий, А.Т. Савичев, Н.А. Аветов и др. // Вестн. МГУ. Сер. 17: Почвоведение. – 2012. – № 3. – С. 7–12.
40. Водяницкий Ю.Н. Металлы в загрязненном нефтью торфе (Западная Сибирь) / Ю.Н. Водяницкий, А.Т. Савичев, С.Я. Трофимов, Е.А. Шишконокова // Бюл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. – 2011. – Вып. 67. – С. 67–79.

41. *Воеводова З.И.* Геолого-разведочные работы в условиях тундры и проблемы охраны окружающей среды / З.И. Воеводова // Охрана окружающей среды при разведке, добыче и транспортировке углеводородного сырья: Тр. Коми науч. центра УрО АН СССР. – Сыктывкар, 1989. – № 104. – С. 61–68.
42. *Воеводова З.И.* Загрязнение воздуха в Большеземельской тундре под влиянием геолого-разведочных работ / З.И. Воеводова // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – С. 150–155.
43. *Воеводова З.И.* Загрязнение природной среды атмосферными выбросами при проведении геолого-разведочных работ / З.И. Воеводова // Тр. Коми науч. центра УрО АН СССР. – 1988. – № 90. – С. 57–67.
44. *Вышемирский В.С.* Оценка масштабов истощения нефтяных залежей во времени / В.С. Вышемирский, А.Э. Конторович // Геология нефти и газа. – 1997. – № 2. – С. 4–8.
45. *Гаврилова И.П.* Почвенно-геохимическое районирование срединного региона по условиям миграции микроэлементов / И.П. Гаврилова, Н.С. Касимов, И.А. Павленко и др. // Ландшафтно-геохимическое районирование и охрана среды. Вопросы географии: Сб. – Вып. 120. – М.: Мысль, 1983. – С. 149–182.
46. *Гаврилова И.П.* Особенности распределения микроэлементов в почвах на покровных суглинках средней тайги Западной Сибири / И.П. Гаврилова, И.А. Павленко // Микроэлементы в ландшафтах Советского Союза / Под ред. М.А. Глазовской. – М.: Изд-во МГУ, 1969. – С. 13–24.
47. *Гашев С.Н.* Влияние сырой нефти на прорастание семян и развитие проростков древесных и травянистых растений / С.Н. Гашев, М.Н. Казанцева, А.В. Соромотин, А.В. Рыбин // Лесоведение. – 1993. – № 5. – С. 64–68.
48. *Гашев С.Н.* Влияние факелов на биогеоценозы Среднего Приобья / С.Н. Гашев, М.Н. Казанцева, А.В. Соромотин, А.В. Рыбин // Бюл. МОИП. – 1994. – Т. 99, вып. 1. – С. 3–7.
49. *Гвоздецкий Н.А.* Физико-географическое районирование Тюменской области / Н.А. Гвоздецкий, А.Е. Кривоуцкий, А.А. Макунина // Природные условия Западной Сибири. – Вып. 1. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – С. 145–156.
50. *Гвоздецкий Н.А.* Физическая география СССР. Азиатская часть / Н.А. Гвоздецкий, Н.И. Михайлов. – М., 1978.
51. *Геннадиев А.Н.* Геохимия полициклических ароматических углеводородов при техногенном загрязнении окружающей среды / А.Н. Геннадиев, А.Ю. Пиковский, С.С. Чернянский, Т.А. Алексеева // Геохимия биосферы: Докл. Междунар. науч. конф., Москва, 15–18 ноября 2006. – М.; Смоленск: Ойкумена, 2006. – С. 17–18.
52. *Геокриология СССР.* Западная Сибирь / Под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1989. – 455 с.
53. *Геология нефти и газа Западной Сибири.* – М.: Недра, 1975. – 680 с.
54. *Геохимия окружающей среды* / Ю.М. Саег, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
55. *Гертер О.В.* Загрязнение снежного покрова территории нефтяного месторождения “Песчаное” / О.В. Гертер // Геоэкологические пробле-

- мы Тюменского региона. – Вып. 3. – Тюмень: “Вектор Бук”, 2008. – С. 108–112.
56. *Гидрогеология СССР*. – Т. 16. Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области). – М.: Недра, 1970. – 368 с.
57. *Глазовская М.А.* Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов / М.А. Глазовская. – М.: Изд-во МГУ, 1964. – 230 с.
58. *Глазовская М.А.* Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР / М.А. Глазовская. – М.: Высш. шк., 1988. – 328 с.
59. *Глазовская М.А.* Принципы классификации природных геосистем по устойчивости к техногенезу и прогнозное ландшафтно-геохимическое районирование / М.А. Глазовская // Устойчивость геосистем. – М.: Наука, 1983. – С. 61–78.
60. *Глазовская М.А.* Теория геохимии ландшафтов в приложении к изучению техногенных потоков рассеяния и анализу способности природных систем к самоочищению / М.А. Глазовская // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состоянии экосистем. – М.: Наука, 1981. – С. 7–41.
61. *Глазовская М.А.* Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды / М.А. Глазовская, Н.С. Касимов, Т.А. Теплицкая. – М.: Наука, 1989. – 264 с.
62. *Глазовская М.А.* Геохимия ландшафтов в приложении к картографированию загрязненных территорий / М.А. Глазовская, Н.П. Солнцева // Геохимическое картографирование техногенных изменений окружающей среды: Тез. докл. – Вильнюс, 1984. – С. 7–9.
63. *Глазовский Н.Ф.* Химический состав снежного покрова некоторых районов Верхнеокского бассейна / Н.Ф. Глазовский, А.И. Злобина, В.П. Учватов. – Пущино: НЦБИ АН СССР, 1978. – 28 с.
64. *Гольдберг В.М.* Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения / В.М. Гольдберг, С. Гадза. – М.: Недра, 1984. – 262 с.
65. *Грива Г.И.* Геоэкологические условия разработки газовых месторождений полуострова Ямал: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук / Г.И. Грива. – Томск, 2006. – 34 с.
66. *Гросвальд М.Г.* Последний Евразийский ледниковый покров / М.Г. Гросвальд // Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждение. – Вып. 30. – М.: Наука, 1977. – С. 176–181.
67. *Данилов И.Д.* Возраст и принципы стратиграфии новейших отложений морских равнин севера Евразии / И.Д. Данилов // Вестн. МГУ. Сер. геогр. – 1971. – № 5. – С. 56–61.
68. *Добежина Н.Л.* Влияние организованных источников загрязнения на качество воды в бассейне Средней и Нижней Оби / Н.Л. Добежина // Геоэкологические проблемы Тюменского региона. – Тюмень: “Вектор Бук”, 2004. – Вып. 1. – С. 57–87.
69. *Добежина Н.Л.* Загрязнение речных вод бассейна средней Оби тяжелыми металлами / Н.Л. Добежина // Геоэкологические аспекты функционирования хозяйственного комплекса Западной Сибири: Материалы науч.-практ. конф., Тюмень, 7–8 декабря 2000 г. – Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2000. – С. 17–22.

70. *Добровольский В.В.* Основы биогеохимии / В.В. Добровольский. – М.: ИЦ “Академия”, 2003. – 400 с.
71. *Добровольский Г.В.* Таежное почвообразование в континентальных условиях / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин, Т.В. Афанасьева. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 225 с.
72. *Добродеев О.П.* Особенности биогеохимии тяжелых металлов верховых болот / О.П. Добродеев // Природные и антропогенноизмененные биогеохимические циклы: Тр. Биогеохимической лаборатории. – Т. 21. – М.: Наука, 1990. – С. 53–61.
73. *Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе–Югре в 2010 году:* Информац. изд. / Правительство ХМАО–Югры; Департамент экологии ХМАО–Югры. – Ханты-Мансийск, 2011. – 125 с.
74. *Долгова Л.С.* Особенности почв средне- и северотаежных подзон Западной Сибири (в пределах Тюменской области) / Л.С. Долгова, И.П. Гаврилова // Природные условия Западной Сибири. – Вып. 1. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – С. 77–90.
75. *Дорожукова С.А.* Эколого-геохимические особенности нефтегазодобывающих районов Тюменской области: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / С.А. Дорожукова. – М., 2004. – 25 с.
76. *Дривер Дж.* Геохимия природных вод / Дж. Дривер. – М.: Мир, 1985. – 440 с.
77. *Дьяконов К.Н.* Влияние нефтедобычи на природную среду Среднего Приобья. Региональный географический прогноз / К.Н. Дьяконов. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – С. 174–182.
78. *Дюкарев А.Г.* Ландшафтно-динамические аспекты таежного почвообразования в Западной Сибири: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук / А.Г. Дюкарев. – Томск, 2003. – 38 с.
79. *Евсеева Н.С.* Эколого-геохимические аспекты эрозии почв Томь-Яйского междуречья (Западная Сибирь) / Н.С. Евсеева, З.Н. Квасникова // География и природ. ресурсы. – 2006. – № 20. – С. 52–57.
80. *Езупенок Е.Э.* Макро- и микроэлементный состав торфов южно-таежной подзоны Западной Сибири / Е.Э. Езупенок // Химия растительного сырья. – 2003. – № 3. – С. 21–28.
81. *Ермилов О.М.* Воздействие объектов газовой промышленности на северные экосистемы и экологическая стабильность геотехнических комплексов в криолитозоне / О.М. Ермилов, Г.И. Грива, В.И. Москвин. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 147 с.
82. *Жерновникова Г.А.* Загрязнение рыбохозяйственных водоемов Обь-Иртышского бассейна и меры борьбы с ним / Г.А. Жерновникова // Биологическая продуктивность водоемов Сибири. – М.: Наука, 1969. – С. 15–18.
83. *Зайдельман Ф.Р.* Процесс глееобразования и его роль в формировании почв / Ф.Р. Зайдельман. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 316 с.
84. *Западная Сибирь* / Отв. ред. Г.Д. Рихтер. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 488 с.
85. *Зверев В.П.* Роль атмосферных осадков в круговороте химических элементов между атмосферой, литосферой и гидросферой / В.П. Зверев,

- В.З. Рубейкин // Изв. вузов. Сер. "Геология и разведка". – 1973. – № 12. – С. 54–60.
86. *Иванов Ю.К.* Основные черты химического состава и пространственная гидрохимическая зональность пресных подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа / Ю.К. Иванов // Ежегодник-2000. Институт геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого: Информ. сб. науч. тр. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – С. 278–285.
87. *Иванова Е.Н.* Классификация почв СССР / Е.Н. Иванова. – М.: Наука, 1976. – 227 с.
88. *Инишева Л.И.* Эколого-геохимическая оценка торфов юго-востока Западно-Сибирской равнины / Л.И. Инишева, Т.Н. Цыбукова // География и природ. ресурсы. – 1999. – № 1. – С. 45–51.
89. *Информационный бюллетень* "О состоянии окружающей природной среды Ханты-Мансийского автономного округа в 2001 году" / Правительство ХМАО; ОАО "Мониторинг". – Ханты-Мансийск, 2002. – 120 с.
90. *Информационный бюллетень* "О состоянии окружающей природной среды Ханты-Мансийского автономного округа в 2002 году" / ОАО "Мониторинг"; управление по охране окружающей природной среды ХМАО. – Ханты-Мансийск, 2003. – 125 с.
91. *Информационный бюллетень* "О состоянии окружающей природной среды Ханты-Мансийского автономного округа-Югры в 2003 году" / ОАО "Мониторинг"; управление по охране окружающей природной среды ХМАО-Югры. – Ханты-Мансийск, 2004. – 160 с.
92. *Казанцева М.Н.* Мониторинговые исследования на участке аварийного разлива нефти в подтаежной зоне Западной Сибири / М.Н. Казанцева, С.Н. Гашев // Вестн. экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – Тюмень, 2000. – Вып. 1. – С. 115–121.
93. *Калинин В.М.* Водные ресурсы Тюменской области (состояние, проблемы, перспективы) / В.М. Калинин // Налоги. Инвестиции. Капитал. – 2003. – № 5–6. – С. 7–9.
94. *Калинин В.М.* Поступление нефтепродуктов в речную сеть от рассредоточенных источников (по материалам Среднего Приобья) / В.М. Калинин // Вестн. ТюмГУ. – 2001. – № 2. – С. 11–21.
95. *Калинин В.М.* Формирование техногенного фона нефтяных углеводородов природных вод нефтегазовых месторождений / В.М. Калинин // Вестн. ТюмГУ. – 2010. – № 7. – С. 5–19; 137–146.
96. *Карта* четвертичных отложений СССР. Масштаб 1:2 500 000 / Министерство геологии СССР; ВСЕГИ. – М., 1973.
97. *Касимов Н.С.* Геохимия степных и пустынных ландшафтов / Н.С. Касимов. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 254 с.
98. *Касимов Н.С.* Пространственные аспекты фонового геохимического мониторинга / Н.С. Касимов, А.Н. Геннадиев, М.Ю. Лычагин // Геохимические методы в экологических исследованиях. – М.: ИМГРЭ, 1994. – С. 20–35.
99. *Катасонов В.Ю.* Великая держава или экологическая колония? / В.Ю. Катасонов. – М.: Молодая гвардия, 1991. – 223 с.
100. *Классификация и диагностика почв России* / Отв. ред. Г.В. Добровольский. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.

101. Ковальский В.В. Геохимическая экология / В.В. Ковальский. – М.: Наука, 1974. – 299 с.
102. Козицкая Ю.Н. Изменение физико-химического состава почв и грунтовых вод вблизи шламовых амбаров: Материалы Всерос. конф. “Экологические проблемы промышленных регионов” / Ю.Н. Козицкая, И.А. Москвина, К.И. Лопатин и др. – Екатеринбург, 2004. – С. 187–189.
103. Коновалов Г.С. Рассеянные и редкие элементы, растворенные в воде и содержащиеся во взвешенных веществах главнейших рек СССР / Г.С. Коновалов, А.А. Иванова, Т.Х. Колесников // Геохимия осадочных пород и руд. – М., 1968. – С. 72–87.
104. Конторович А.Э. Формы миграции элементов в реках гумидной зоны / А.Э. Конторович // Геохимия осадочных пород и руд. – М., 1968. – С. 88–101.
105. Корзун А.В. Геохимический анализ наземных и подземных льдов Арктики / А.В. Корзун. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 193 с. Деп. в ВИНТИ 03.04.1986, № 333-В89.
106. Краткий справочник по геохимии. – М.: Недра, 1977. – 184 с.
107. Крештапова В.Н. Методические рекомендации по оценке содержания микроэлементов в торфяных месторождениях европейской части РСФСР / В.Н. Крештапова. – М.: Геолторфразведка, 1974. – 200 с.
108. Крупенио И.Н. Определение площади участков загрязнений нефтепродуктами на территории Усинского района, Республика Коми, по данным дистанционных измерений / И.Н. Крупенио, И.Ю. Пармузин, П.И. Пармузин // Геоэкология. – 1997. – № 4. – С. 98–103.
109. Кудрин В.И. Среднегодовое загрязнение открытых водных объектов ХМАО нефтью и нефтепродуктами / В.И. Кудрин // Информ. бюл. “О состоянии окружающей природной среды Ханты-Мансийского автономного округа в 2001 году” / Правительство ХМАО; ОАО “Мониторинг”. – Ханты-Мансийск, 2002. – С. 17–19.
110. Лазуков Г.И. Антропоген северной половины Западной Сибири / Г.И. Лазуков. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 321 с.
111. Лакин Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
112. Лезин В.А. Реки и озера Тюменской области (словарь-справочник) / В.А. Лезин. – Тюмень, 1995. – 300 с.
113. Лисс О.Л. Болота Западно-Сибирской равнины / О.Л. Лисс, Н.А. Березина. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 204 с.
114. Лобова Е.В. Почвы / Е.В. Лобова. – М.: Мысль, 1983. – 303 с.
115. Льготин В.А. Особенности и факторы формирования гидрохимического состояния поверхностных вод Томской области / В.А. Льготин, Ю.В. Макушин, О.Г. Савичев, Т.Д. Кириленко // География и природ. ресурсы. – 2005. – № 1. – С. 39–46.
116. Мазур И.И. Экология строительства объектов нефтяной и газовой промышленности / И.И. Мазур. – М.: Недра, 1991. – 279 с.
117. Макаренкова И.Ю. Экологическая оценка воздействия нефтегазодобывающей деятельности на водные объекты Среднего Приобья: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук / И.Ю. Макаренкова. – Ростов н/Д, 2007. – 25 с.

118. *Макаров В.Н.* Геохимический атлас Якутска / В.Н. Макаров. – Якутск: Ин-т мерзлотоведения, 1985. – 64 с.
119. *Макунина А.А.* Дифференциация природно-территориальных комплексов / А.А. Макунина, Н.С. Селезнева // Региональный географический прогноз. Западная Сибирь. – М., 1980. – Вып. 2. – С. 59–80.
120. *Масленников В.В.* Природные и техногенные геохимические ореолы Ямала / В.В. Масленников, Н.С. Берендеев // Отечеств. геология. – 1995. – № 2. – С. 72–75.
121. *Матковский А.К.* Интегральный показатель зообентоса как один из составляющих комплексной оценки экологического состояния водоемов на территории нефтегазовых месторождений / А.К. Матковский // Биологическое разнообразие животных Сибири: Материалы науч. конф., Томск, 28–30 октября 1998 г. – Томск, 1998. – С. 203–204.
122. *Мельников П.И.* Явление криогенной миграции химических элементов и его значение для поисков месторождений в районах вечной мерзлоты / П.И. Мельников, О.П. Иванов, В.Н. Макаров и др. // Докл. АН СССР. – 1988. – Т. 303, № 4. – С. 963–967.
123. *Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель* (утв. Роскомземом 28.12.1994, Минсельхозпродом РФ 26.01.1995., Минприроды 15.02.1995). – М., 1995.
124. *Методические рекомендации по применению требований к исходной (фоновой) загрязненности компонентов природной среды, проектированию и ведению системы экологического мониторинга в границах лицензионных участков недр на территории Ханты-Мансийского автономного округа.* – Ханты-Мансийск, 2004. – 92 с.
125. *Миграция химических элементов в подземных водах СССР (закономерности и количественная оценка)* // Тр. ГИН АН СССР. – М.: Наука, 1974. – Вып. 261. – 239 с.
126. *Микроэлементы в почвах Советского Союза* / Под ред. В.А. Ковды, Н.Г. Зырина. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – 281 с.
127. *Мисюрова Г.Г.* Состояние гидрохимического режима малых рек и степень их нефтяного загрязнения / Г.Г. Мисюрова // Актуальные проблемы окружающей среды на нефтяных и газовых месторождениях Тюменского севера: Тез. докл. регион. конф. – Тюмень, 1983. – С. 36–37.
128. *Михайлов Н.И.* Природа Сибири / Н.И. Михайлов. – М.: Мысль, 1976. – 156 с.
129. *Михайлов Р.П.* Некоторые геохимические особенности подгольцового пояса Косьюинского Камня / Р.П. Михайлов, И.С. Михайлова // Растительность лесотундры и пути ее освоения. – Л.: Наука, 1967. – С. 146–150.
130. *Михайлова Л.В.* Современный гидрохимический режим и влияние загрязнений на водную экосистему и рыбное хозяйство Обского бассейна: Обзор / Л.В. Михайлова // Гидробиол. журн. – 1991. – Т. 27, № 5. – С. 80–90.
131. *Михайлова Л.В.* Река Ватинский Еган – естественная модель экстремального загрязнения / Л.В. Михайлова, Т.Г. Акатьева, Г.А. Петухова и др. // VII съезд Гидробиологического общества РАН. – Казань: Полиграф, 1996. – Т. 3. – С. 50–51.

132. Михайлова Л.В. Экологические аспекты влияния углеводородного загрязнения на пресноводные экосистемы Обского бассейна в районе нефтяных разработок / Л.В. Михайлова, Г.А. Горшкова, В.И. Уварова // Актуальные проблемы окружающей среды на нефтяных и газовых месторождениях Тюменского севера: Тез. докл. регион. конф. – Тюмень, 1983. – С. 31–33.
133. Михайлова Л.В. Особенности ионного состава и минерализации воды р. Обь и некоторых ее притоков / Л.В. Михайлова, В.И. Уварова, О.А. Бархович // Водные ресурсы. – 1988. – № 3. – С. 25–35.
134. Моисеенко Т. Качество сибирских вод / Т. Моисеенко, А. Шалабодов, С. Гашев // Наука в России. – 2012. – № 4. – С. 13–19.
135. Москвина Н.Н. Ландшафтное районирование Ханты-Мансийского автономного округа / Н.Н. Москвина, В.В. Козин. – Ханты-Мансийск: ГУИПП “Полиграфист”, 2001. – 40 с.
136. Московченко Д.В. Антропогенное воздействие на поверхностные воды Ханты-Мансийского автономного округа / Д.В. Московченко // Проблемы взаимодействия человека и природной среды. – Вып. 6. – Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2005. – С. 18–27.
137. Московченко Д.В. Биогеохимические особенности ландшафтов полуострова Ямал и их оптимизация в связи с нефтегазодобычей: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук / Д.В. Московченко. – СПб., 1995. – 24 с.
138. Московченко Д.В. Нефтегазодобыча и окружающая среда: эколого-геохимический анализ Тюменской области / Д.В. Московченко. – Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1998. – 112 с.
139. Московченко Д.В. Нефтепродукты в донных отложениях водных источников Ханты-Мансийского автономного округа / Д.В. Московченко // Вод. ресурсы. – 2005. – Т. 32, № 1. – С. 79–83.
140. Московченко Д.В. Определение уровня антропогенного воздействия на водные экосистемы Ханты-Мансийского автономного округа по данным гидрохимических исследований / Д.В. Московченко // Проблемы взаимодействия человека и природной среды. – Вып. 5. – Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2004. – С. 122–126.
141. Московченко Д.В. Экологическое состояние рек Обского бассейна в районах нефтедобычи / Д.В. Московченко // География и природ. ресурсы. – 2003. – № 1. – С. 35–41.
142. Московченко Д.В. Эколого-гидрохимическая оценка состояния поверхностных вод Ханты-Мансийского автономного округа / Д.В. Московченко, С.А. Алешин, Ю.В. Казанцев // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2006. – № 6. – С. 536–543.
143. Московченко Д.В. Особенности формирования гидрохимических аномалий в районах нефтедобычи на севере Западной Сибири / Д.В. Московченко, А.Г. Бабушкин, Г.А. Артамонова // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2008. – № 5. – С. 411–419.
144. Московченко Д.В. Последствия буровых работ на севере Тюменской области / Д.В. Московченко, С.Л. Дорожукова // Экология и промышленность России. – 2002. – № 9. – С. 27–30.
145. Напартэ В.А. О перспективах использования явлений криогенеза для геохимических поисков / В.А. Напартэ // Повышение эффективности

- геохимических потоков на территории притрассовой полосы БАМ: Тез. VI сессии СГПМ. – Улан-Удэ, 1977. – С. 8–10.
146. *Нейштадт М.И.* Мировой природный феномен – заболоченность Западно-Сибирской равнины / М.И. Нейштадт // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1971. – № 1. – С. 21–43.
147. *Нельсон-Смит А.* Нефть и экология моря / А. Нельсон-Смит. – М.: Прогресс, 1977. – 302 с.
148. *Нечаева Е.Г.* Геохимические закономерности торфообразования на Западно-Сибирской равнине / Е.Г. Нечаева // География и природ. ресурсы. – 1992. – № 3. – С. 21–29.
149. *Нечаева Е.Г.* Гидрохимическая обстановка в таежном Обь-Иртышье / Е.Г. Нечаева // География и природ. ресурсы. – 1994. – № 1. – С. 110–117.
150. *Нечаева Е.Г.* Использование ландшафтно-геохимического метода для определения динамического состояния геосистем / Е.Г. Нечаева // Материалы VII Всесоюз. совещ. по вопросам ландшафтоведения. – Пермь, 1974. – С. 48–49.
151. *Нечаева Е.Г.* Ландшафтно-геохимическая специфика Западно-Сибирской долинно-таежной геосистемы / Е.Г. Нечаева // Региональные ландшафтно-геохимические исследования. – Иркутск: Ин-т географии СО АН СССР, 1986. – С. 54–66.
152. *Нечаева Е.Г.* Ландшафтно-геохимические черты зональных подразделений долинно-таежного Обь-Иртышья / Е.Г. Нечаева // География почв и геохимия ландшафтов Сибири. – Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 1988. – С. 3–17.
153. *Нечаева Е.Г.* Ландшафтно-геохимический анализ динамики таежных геосистем / Е.Г. Нечаева. – Иркутск, ИГ СО РАН, 1985. – 210 с.
154. *Нечаева Е.Г.* Ландшафтно-геохимическое районирование Западно-Сибирской равнины / Е.Г. Нечаева // География и природ. ресурсы. – 1990. – № 4. – С. 77–83.
155. *Нечаева Е.Г.* О методике расчета показателей ландшафтно-геохимических процессов в таежных геосистемах / Е.Г. Нечаева // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. – Иркутск, 1971. – Вып. 31. – С. 3–13.
156. *Нечаева Е.Г.* Принципы и технология эколого-ландшафтно-геохимической дифференциации территории / Е.Г. Нечаева // География и природ. ресурсы. – 1995. – № 4. – С. 18–24.
157. *Нечаева Е.Г.* Природные и техногенные ландшафтно-геохимические преобразования территории среднего Приобья / Е.Г. Нечаева // География и природ. ресурсы. – 2004. – № 3. – С. 62–71.
158. *Нечаева Е.Г.* Тенденции изменения почв и развития почвенно-геохимических процессов в таежном Прииртышье / Е.Г. Нечаева // Географические условия и особенности природы таежного Прииртышья. – Иркутск: ИГ СО РАН, 1983. – С. 119–132.
159. *Нечаева Е.Г.* Снежный покров как объект регионального мониторинга среды обитания / Е.Г. Нечаева, С.А. Макаров // География и природ. ресурсы. – 1996. – № 2. – С. 43–48.
160. *Новейшая тектоника нефтегазоносных областей Сибири* / Ред. Н.А. Флоренсов, И.П. Варламов. – М.: Недра, 1981. – 238 с.

161. *Обзор* “О состоянии окружающей природной среды Ханты-Мансийского автономного округа в 1997 году”. – Ханты-Мансийск, 1998. – 155 с.
162. *Обзор* “О состоянии окружающей природной среды Ханты-Мансийского автономного округа в 1998 году” / Государственный комитет по охране окружающей среды ХМАО. – Ханты-Мансийск, 1999. – 152 с.
163. *Обзор* “О состоянии окружающей природной среды Ханты-Мансийского автономного округа в 1999 году” / Государственный комитет по охране окружающей среды ХМАО, ОАО “Мониторинг”. – Ханты-Мансийск, 2000. – 129 с.
164. *Опекунова М.Г.* Загрязнение нефтепродуктами почв Тюменского севера / М.Г. Опекунова, И.Ю. Арестова, В.М. Щербаков и др. // Вестн. СПб ГУ. Сер. 7. Геология. География. – 1996. – Вып. 3. – С. 87–90.
165. *Патин С.А.* Добыча нефти и газа на морском шельфе: эколого-рыбохозяйственный анализ / С.А. Патин // Рыбное хозяйство. – 1994. – № 5. – С. 30–33.
166. *Перельман А.И.* Геохимия / А.И. Перельман. – М.: Высш. шк., 1979. – 422 с.
167. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта / А.И. Перельман. – М.: Высш. шк., 1975. – 342 с.
168. *Перельман А.И.* Геохимия природных вод / А.И. Перельман. – М.: Наука, 1982. – 154 с.
169. *Перельман А.И.* Параметры самоорганизации природных геохимических ландшафтов / А.И. Перельман, Е.Н. Борисенко, А.Е. Воробьев и др. // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1996. – № 5. – С. 7–10.
170. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. – М.: Астрейя-2000, 1999. – 763 с.
171. *Перечень* рыбохозяйственных нормативов: предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней веществ (ОБУВ) для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – М.: Изд-во ВНИРО, 1999. – 304 с.
172. *Пиковский Ю.И.* Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде / Ю.И. Пиковский. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 208 с.
173. *Питулько В.М.* Вторичные ореолы рассеяния в криолитозоне / В.М. Питулько. – Л.: Недра, 1977. – 197 с.
174. *Покатилов Ю.Г.* Биогеохимия биосферы и медико-биологические проблемы (экологические проблемы химии биосферы и здоровья населения) / Ю.Г. Покатилов. – Новосибирск: Наука, 1993. – 168 с.
175. *Полищук Ю.М.* Анализ воздействия загрязнений атмосферы на лесоболотные экосистемы в нефтедобывающих районах Сибири / Ю.М. Полищук, О.С. Токарева // Оптика атмосферы и океана. – 2000. – Т. 13, № 10. – С. 950–953.
176. *Полуостров Ямал* (инженерно-геологический очерк) / В.Т. Трофимов, Ю.Б. Баду, В.Г. Кудряшов, Н.Г. Фирсов. – М.: Изд-во МГУ, 1975. – 279 с.
177. *Полынов Б.Б.* Избранные труды / Б.Б. Полынов. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 752 с.

178. *Потапова Т.М.* Закономерности аккумуляции нефтезагрязнений в деятельном горизонте болот и их экологическая роль как естественных фильтров / Т.М. Потапова, С.М. Новиков, И.И. Валушко // Вестн. СПб ГУ. Сер. 7. – 2000. – Вып. 1. – С. 120–128.
179. *Природа Ямала.* – Екатеринбург: Наука УИФ, 1995. – 435 с.
180. *Природная среда Ямала.* – Т. 2. – Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 1995. – 104 с.
181. *Природные режимы средней тайги Западной Сибири.* – Новосибирск: Наука, 1977. – 303 с.
182. *Рапута В.Ф.* Анализ временной динамики изменения состава атмосферного аэрозоля на севере Западной Сибири / В.Ф. Рапута, Б.С. Смоляков, К.П. Куценогий и др. // Сиб. экол. журнал. – 2000. – № 1. – С. 97–102.
183. *Рапута В.Ф.* Оценка содержания сульфатов и нитратов в снегу окрестностей нефтегазового факела / В.Ф. Рапута, Б.С. Смоляков, К.П. Куценогий // Сиб. экол. журнал. – 2000. – № 1. – С. 103–107.
184. *Регламент по охране окружающей природной среды для проектирования и производства работ на территории природного парка “Нумто” (подготовительные, вышкомонтажные работы и строительство скважин).* – Сургут: ОАО “Сургутнефтегаз”, 2003. – 141 с.
185. *Ресурсы поверхностных вод суши: Средняя Обь.* – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 406 с.
186. *Родин Л.Е.* Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности / Л.Е. Родин, Н.И. Базилевич. – М.; Л.: Наука, 1965. – 253 с.
187. *Романова И.М.* Оценка антропогенных изменений качества вод бассейна Оби в пределах Тюменской области / И.М. Романова // Междунар. науч.-практ. конф. “Безопасность жизнедеятельности в Сибири и на Крайнем Севере”: Тез. докл. – Ч. 1. – Тюмень, 1995. – С. 69–70.
188. *Российская Арктика на пороге катастрофы.* – М.: Центр экол. политики России, 1996. – 208 с.
189. *Савичев О.Г.* Исследование эколого-геохимического состояния речных вод бассейна Средней Оби: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Томск, 1996. – 23 с.
190. *Савичев О.Г.* Реки Томской области: состояние, использование и охрана / О.Г. Савичев. – Томск: Изд-во Томск. политех. ун-та, 2003. – 202 с.
191. *Савичев О.Г.* Условия формирования ионного стока в бассейне Средней Оби / О.Г. Савичев // Изв. Томск. политех. ун-та. – 2005. – Т. 308, № 2. – С. 54–58.
192. *Савичев О.Г.* Химический состав природных ландшафтов с разной степенью антропогенной нагрузки / О.Г. Савичев, В.А. Базанов, М.А. Здвижков // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири: Тр. Всерос. науч. конф. – Томск: Изд-во Томск. политех. ун-та, 2003. – С. 274–276.
193. *Савкин В.М.* Водные ресурсы Обь-Иртышского бассейна и их использование при решении воднохозяйственных задач Западной Сибири / В.М. Савкин, Г.А. Орлова // Географические проблемы освоения ресурсов Сибири. – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 87–98.

194. Савченко Н.В. Природа озер Западно-Сибирской Субарктики / Н.В. Савченко // География и природ. ресурсы. – 1992. – № 1. – С. 85–92.
195. Савченко Н.В. Устойчивость озерных экосистем полуострова Ямал и их трансформация под влиянием антропогенного фактора / Н.В. Савченко // Освоение Севера и проблемы рекультивации: Тез. докл. Междунар. симп. – Сыктывкар, 1991. – С. 169–170.
196. Селезнева Е.С. О естественном фоне загрязнения атмосферы в составе осадков на территории СССР / Е.С. Селезнева, В.М. Дроздова // Современные проблемы климатологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – С. 292–299.
197. Семенов А.Д. Содержание и критерии идентификации естественных углеводородов в поверхностных водах / А.Д. Семенов, А.Г. Страдомская, А.Ф. Павленко // Гидрохимические материалы. – 1977. – Т. 66. – С. 96–103.
198. Семенов Ю.М. Ландшафтно-геохимический синтез и организация геосистем / Ю.М. Семенов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 144 с.
199. Сивоконь И.С. Анализ современного состояния природной среды в районе Ватинского нефтяного месторождения / И.С. Сивоконь, Е.А. Шор // Биологические ресурсы и природопользование: Сб. науч. тр. – Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. пед. ин-та, 1997. – Вып. 1. – С. 99–113.
200. Скипин Л.Н. Содержание тяжелых металлов в атмосферных осадках юга Тюменской области / Л.Н. Скипин, Ю.А. Квашнина, А.А. Ваймер // Окружающая среда: Сб. докл. – Тюмень: Тюм. дом печати, 2006. – С. 54–68.
201. Смоленцев Б.А. Структура почвенного покрова Сибирских Увалов / Б.А. Смоленцев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 117 с.
202. Смоленцев К.Ю. Закономерности размещения и формирования пресных подземных вод в криолитозоне Западной Сибири / К.Ю. Смоленцев, Ю.К. Смоленцев // Пресные и маломинерализованные подземные воды Западной Сибири: Межвуз. сб. науч. тр. / ТюмГУ. – Тюмень, 1989. – С. 28–44.
203. Смоленцев Ю.К. Особенности геохимии железа и марганца пресных подземных вод центральной части Западно-Сибирского мегабассейна / Ю.К. Смоленцев, Н.С. Трофимова // Подземные воды востока России: Материалы XV Всерос. совещ. по подземным водам Сибири и Дальнего Востока (7–9 окт. 1997 г.). – Тюмень: ТюмГНГУ, 1997. – С. 16–17.
204. Снытко В.А. Геохимические аспекты исследования топогеосистем / В.А. Снытко // Топологические аспекты учения о геосистемах. – Новосибирск: Наука, 1974. – С. 138–174.
205. Соколова Т.А. Экспериментальное изучение взаимодействия сфагнового торфа с буровым шламом / Т.А. Соколова, С.Я. Трофимов, И.И. Толпешта, Т.Я. Дронова // Почвоведение. – 2005. – № 3. – С. 366–375.
206. Солнцева Н.П. Геохимическая устойчивость природных систем к техногенезу (принципы и методы изучения, критерии прогноза) / Н.П. Солн-

- цева // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. – М.: Наука, 1982. – С. 181–216.
207. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов / Н.П. Солнцева. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 376 с.
208. Солнцева Н.П. О принципах и методах крупномасштабных исследований для прогноза влияния техногенеза на геохимическую структуру ландшафтов / Н.П. Солнцева // Методология и методика почвенных и ландшафтно-геохимических исследований. – М., 1977. – С. 160–177.
209. Солнцева Н.П. Влияние сточных вод на почвы в районе Уренгойского газоконденсатного месторождения (Западная Сибирь) / Н.П. Солнцева, А.П. Садов // Почвоведение. – 1997. – № 3. – С. 322–329.
210. Солодовников А.Ю. Хозяйственная деятельность как фактор воздействия на окружающую среду в регионах добычи нефти и газа (оценка и принятие управленческих решений): Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук / А.Ю. Солодовников. – СПб., 2007. – 34 с.
211. Сорокина Е.П. Анализ регионального геохимического фона как основа эколого-геохимического картирования равнинных территорий: на примере северной части Западно-Сибирского региона / Е.П. Сорокина, Н.К. Дмитриева, А.К. Карпов и др. // Прикладная геохимия. Экологическая геохимия. – 2001. – № 2. – С. 316–338.
212. Сорокина Е.П. Дифференциация геохимического фона природной среды на основе ландшафтно-геохимического районирования территории / Е.П. Сорокина, Н.К. Дмитриева, А.К. Карпов, Н.Ю. Трихалина // География и природ. ресурсы. – 2007. – № 2. – С. 143–151.
213. Соромотин А.В. Техногенная трансформация природных экосистем таежной зоны в процессе нефтегазодобычи (на примере Тюменской области: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук / А.В. Соромотин. – Тюмень, 2007. – 47 с.
214. Соромотин А.В. Экологические последствия различных этапов освоения нефтегазовых месторождений в таежной зоне Тюменской области / А.В. Соромотин // Сиб. экол. журн. – 2011. – № 6. – С. 813–822.
215. Сочава В.Б. Геотопология как раздел учения о геосистемах / В.Б. Сочава // Топологические аспекты учения о геосистемах. – Новосибирск: Наука, 1974. – С. 3–86.
216. Справочник по геохимии / Г.В. Войткевич, А.В. Кокин, А.Н. Мирошников, В.Г. Прохоров. – М.: Недра, 1990. – 480 с.
217. Сысо А.И. Геохимические и агрохимические особенности торфяных почв юга Западной Сибири / А.И. Сысо // География и природ. ресурсы. – 1996. – № 1. – С. 87–97.
218. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири / А.И. Сысо. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 275 с.
219. Сысо А.И. Общие закономерности распределения микроэлементов в покровных отложениях и почвах Западной Сибири / А.И. Сысо // Сиб. экол. журн. – 2004. – № 3. – С. 273–287.
220. Таргульян В.О. Почвенно-геохимическое районирование холодно-влажных областей севера Евразии. Растительность лесотундры и пути ее освоения / В.О. Таргульян. – Л.: Наука, 1967. – С. 13–19.

221. *Таргульян В.О.* Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях / В.А. Таргульян. – М.: Наука, 1971. – 268 с.
222. *Темерев С.В.* Эколого-химическая оценка состояния водных систем бассейна Оби: Автореф. дис. ... д-ра хим. наук / С.В. Темерев. – М., 2008. – 51 с.
223. *Тентюков М.П.* Геохимия ландшафтов центрального Ямала / М.П. Тентюков. – Екатеринбург, 1998. – 101 с.
224. *Тентюков М.П.* Особенности формирования загрязнения снежного покрова: морозное конденсирование техногенных эмиссий (на примере районов нефтедобычи в Большеземельской тундре) / М.П. Тентюков // Криосфера Земли. – 2007. – Т. 11, № 4. – С. 31–41.
225. *Тишков А.А.* Экологическая реставрация нарушенных экосистем Севера / А.А. Тишков. – М.: Изд-во УРАО, 1996. – 116 с.
226. *Тишков А.А.* Природная и антропогенная динамика биоты и экосистем Российского Севера / А.А. Тишков, М.В. Глазов, Г.Е. Вильчек и др. // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2001. – № 4. – С. 58–65.
227. *Токарева О.С.* Воздействие факельного сжигания попутного газа на нефтедобывающих предприятиях на природную среду таежной зоны Сибири: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.С. Токарева. – Томск, 2006. – 22 с.
228. *Тренды ландшафтно-геохимических процессов в геосистемах юга Сибири* / Е.Г. Нечаева, Н.Д. Давыдова, А.И. Шетников и др. – Новосибирск: Наука, 2004. – 184 с.
229. *Уварова В.И.* Изменение гидрохимического режима и качества воды в Обском бассейне под влиянием хозяйственной деятельности / В.И. Уварова // Гидробионты Обского бассейна в условиях антропогенного воздействия: Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. – Вып. 327. – СПб., 1995. – С. 3–19.
230. *Уварова В.И.* Современное состояние качества воды р. Оби в пределах Тюменской области / В.И. Уварова // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – Вып. 1. – Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2000. – С. 18–26.
231. *Уварова В.И.* Современное состояние уровня загрязненности воды и грунтов Обь-Иртышского бассейна / В.И. Уварова // Сб. науч. тр. ГосНИИ озерного и речного хозяйства Росрыбхоза. – Вып. 305. – Л., 1989. – С. 23–33.
232. *Файбусович Я.Э.* Плиоцен-четвертичные отложения. Атлас ЯНАО / Я.Э. Файбусович. – Омск, 2004. – С. 72.
233. *Физико-географический атлас мира.* – М.: ГУГК, 1964.
234. *Фокина Л.М.* Формирование природно-техногенных систем нефтегазовых комплексов, комплексный мониторинг и оптимизация технологии минимизации экологического ущерба: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук / Л.М. Фокина. – Тюмень, 2007. – 38 с.
235. *Фотиев С.М.* Закономерности формирования ионно-солевого состава природных вод Ямала / С.М. Фотиев // Криосфера Земли. – 1999. – Т. 3, № 2. – С. 40–65.
236. *Фридланд В.М.* Структура почвенного покрова / В.М. Фридланд. – М.: Мысль, 1972. – 423 с.

237. *Хорошавин В.Ю.* Загрязнение нефтепродуктами малых рек бассейна Пура рассредоточенными источниками / В.Ю. Хорошавин // Геоэкологические проблемы Тюменского региона. – Вып. 1. – Тюмень: “Вектор Бук”, 2004. – С. 105–130.
238. *Хорошавин В.Ю.* Прогноз формирования качества речных вод под влиянием рассредоточенных источников нефтепродуктов / В.Ю. Хорошавин // Вестн. ТюмГУ. – 2010. – № 7. – С. 5–19; 153–161.
239. *Характеристика экосистемы реки Северной Сосьвы.* – Свердловск: УрО АН СССР, 1990. – 251 с.
240. *Хренов В.Я.* Содержание микроэлементов в почвообразующих породах севера Тюменской области / В.Я. Хренов // География и природ. ресурсы. – 1987. – № 3. – С. 163–165.
241. *Черняева Л.Е.* Химический состав атмосферных выпадений (Урал и Уральский район) / Л.Е. Черняева, А.М. Черняев, А.К. Могиленских. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 178 с.
242. *Чижов Б.Е.* Лекции по рекультивации нефтезагрязненных земель в Ханты-Мансийском автономном округе / Б.Е. Чижов, В.И. Вавер, В.А. Долингер и др. – Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2000. – 84 с.
243. *Чижов Б.Е.* Деградационно-восстановительная динамика лесных фитоценозов после нефтяного загрязнения / Б.Е. Чижов, А.И. Захаров, Г.А. Гаркунов // Леса и лесное хозяйство Западной Сибири. – Вып. 6. – Тюмень: Изд-во ТГУ, 1998. – С. 160–172.
244. *Шарапова Т.А.* Макробеспозвоночные рек Аганского увала / Т.А. Шарарапова // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – Вып. 3. – Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2002. – С. 119–132.
245. *Шахматова В.М.* Проблемы санитарной охраны водоемов Нижневартовского нефтегазодобывающего комплекса / В.М. Шахматова // Актуальные проблемы охраны среды на нефтяных и газовых месторождениях Тюменского севера: Тез. докл. регион. конф. – Тюмень, 1983. – С. 37–38.
246. *Шварцев С.Л.* Эколого-геохимическое состояние крупных притоков Средней Оби / С.Л. Шварцев, З.Д. Копалиани // Вод. ресурсы. – 1997. – Т. 24, № 6. – С. 740–743.
247. *Шварцев С.Л.* Условия формирования подземных вод активного водообмена юго-востока Западно-Сибирского артезианского бассейна. Пресные и маломинерализованные подземные воды Западной Сибири: Межвуз. сб. науч. тр. / С.Л. Шварцев, Н.М. Рассказов, В.Я. Бычков, Н.М. Шварцева. – Тюмень, 1989. – С. 17–28.
248. *Шварцев С.Л.* Эколого-геохимическое состояние речных вод Средней Оби / С.Л. Шварцев, О.Г. Савичев, Г.Г. Вертман и др. // Вод. ресурсы. – 1996. – Т. 23, № 6. – С. 723–731.
249. *Шор Е.Л.* Оценка удельных показателей нарушенности месторождений Нижневартовского района / Е.Л. Шор // Наука и образование ХМАО – XXI веку: Сб. тез. докл. окружной конф. молодых ученых и специалистов. – Сургут: СурГУ, 2000. – С. 210–211.
250. *Шор Е.Л.* Оценка средних фоновых концентраций нефтепродуктов в почвах и поверхностных водах нефтяных месторождений Нижневартовского района / Е.Л. Шор, А.Г. Хуршудов // Исследования эколого-

- географических проблем природопользования для обеспечения территориальной организации и устойчивости развития нефтегазовых регионов России: Теория, методы и практика. – Нижневартовск: НГПИ, ХМРО РАЕН, ИОА СО РАН, 2000. – С. 147–148.
251. *Шорникова Е.А.* Диагностика состояния экосистем водотоков по гидрохимическим и микробиологическим показателям (на примере широтного отрезка Средней Оби): Автореф. дис. ... канд. биол. наук / Е.А. Шорникова. – Хабаровск, 2008. – 23 с.
252. *Шорникова Е.А.* Некоторые возможные способы утилизации отходов бурения и нефтедобычи / Е.А. Шорникова // Биологические ресурсы и природопользование. – Вып. 5. – Сургут: Дефис, 2002. – С. 99–109.
253. *Шумилова Л.В.* Болотные регионы Западной Сибири в пределах Тюменской области / Л.В. Шумилова // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока АН СССР. – Иркутск, 1969. – № 23. – С. 14–20.
254. *Экология Ханты-Мансийского автономного округа* / Под ред. В.В. Плотникова. – Тюмень: СофтДизайн, 1997. – 288 с.
255. *Яковлев В.Д.* Влияние отходов горно-добывающей промышленности на водные биоценозы Кольского севера / В.Д. Яковлев // Тр. Первой Всесоюз. конф. по рыбохозяйственной токсикологии (Рига, сентябрь 1988). – Рига: Ин-т биологии, 1988. – Ч. 2. – С. 104–105.
256. *Albers P.H.* Oil spills and the environment: a review of chemical fate and biological effects of petroleum / P.H. Albers // *The Effects of Oil on Wildlife*. – Hanover: PA. Sheridan Press, 1991. – P. 1–12.
257. *AMAP: Arctic Monitoring and Assessment Programme. Assessment Report: Arctic Pollution Issues*. – Oslo, Norway, 1998. – 859 p. (<http://www.amap.no/assessment/scientificbackground.htm>)
258. *AMAP: Arctic Monitoring and Assessment Programme. Arctic Pollution 2002. Persistent Organic Pollutants. Heavy Metals. Radioactivity. Human Health. Changing Pathways*. – Oslo, Norway, 2002. – 112 p. (<http://www.amap.no>)
259. *AMAP: Arctic Monitoring and Assessment Programme. AMAP Assessment 2002. Heavy Metals in the Arctic*. – Oslo, Norway, 2005. – 265 p. (www.amap.no)
260. *Begak O.Yu.* Identification of Oil Pollution Sources by a Set of Modern Instrumental Methods / O.Yu. Begak, A.M. Syroezhko // *Russian J. of Appl. Chem.* – 2001. – Vol. 74, N 5. – P. 784–787.
261. *Brabets T.* Environmental and Hydrologic Overview of the Yukon River Basin, Alaska and Canada: Water-Resources Investigations Report 99-4204 / T. Brabets, B. Wang, R. Meade. – Anchorage, Alaska, 2000. – 114 p. (<http://pubs.usgs.gov/wri/wri994204>)
262. *Brownlow A.J.* *Geochemistry* / A.J. Brownlow. – New Jersey: Prentice-Hall, 1979. – 498 p.
263. *Glooschenko W.A.* Use of bog vegetation as a monitor of atmospheric input of metals / W.A. Glooschenko, R. Sims, M. Gregory et al. // *Atmospheric pollutants in natural waters*. – Ann Arbor Science Publ, 1981. – P. 389–399.
264. *Gorzelska K.* Locally generated atmospheric tracemetal pollution in Canadian Arctic as reflected by chemistry of snowpack samples from the Mack-

- enzie Delta region / K. Gorzelska // Atmos. Environ. – 1989. – Vol. 23, N 12. – P. 2729–2737.
265. *Hussain T.* Monitoring and assessment of toxic metals in Gulf War oil spill contaminated soil using laser-induced breakdown spectroscopy / T. Hussain, M.A. Gondal // Environ. Monitor. Ass. – 2008. – Vol. 136. – P. 391–399.
266. *Irwin R.J.* Environmental Contaminants Encyclopedia. National Park Service, Water Resources Division, Fort Collins, Colorado, 1998 / R.J. Irwin, M. VanMouwerik, L. Stevens et al. (<http://www.nature.nps.gov/water/ecencyclopedia/index.cfm>.)
267. *Lindberg S.E.* The dynamic oxidation of gaseous mercury in the Arctic troposphere at polar sunrise / S.E. Lindberg, S.B. Brooks, C.-J. Lin et al. // Environ. Sci. Technol. – 2002. – Vol. 36. – P. 1245–1257.
268. *Lodewijkx M.* West Siberian Oil Industry Environmental and Social Profile. Summary Report / M. Lodewijkx, H. Blok, V. Ingvam et al. // IWACO Consultants for water and environment. Project number 56116. 2001, June. // <http://www.greenpeace.nl/Global/nederland/report/2001/5/west-siberia-oil-industry-envi.pdf>)
269. *Long E.R.* The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the National Status and Trends Program. NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52, National Oceanic and Atmospheric Administration / E.R. Long, L.G. Morgan. – Seattle, WA, 1991. – 175 p.
270. *Lu J.Y.* Magnification of atmospheric mercury deposition to polar regions in springtime: the link to tropospheric ozone depletion chemistry / J. Y. Lu, W.H. Schroeder, L. Barrie et al. // Geophys. Res. Let. – 2001. – Vol. 28. – P. 3219–3222.
271. *MacDonald D.D.* Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems / D.D. MacDonald, C.G. Ingersoll, T.A. Berger // Arch. Environ. Contam. Toxicol. – 2000. – Vol. 39. – P. 20–31.
272. *Mart L.* Seasonal variation of Cd, Pb, Cu and levels in snow from the Eastern Arctic ocean / L. Mart // Tellus. – 1983. – Vol. 35B, N 2. – P. 131–141.
273. *Martin J.M.* Elemental mass-balance of material carried by major world rivers / J.M. Martin, M. Meubeck // Marine Chemistry. – 1979. – N 7. – P. 173–206.
274. *Moskovchenko D.V.* Surface water quality assessment of the Vatinisky Egan River catchment, West Siberia / D.V. Moskovchenko, A.G. Babushkin, G.N. Artamonova // Environ. Monitor. Ass. – 2009. – Vol. 148. – P. 359–368.
275. *Nash T.H.* The response of lichens to atmospheric deposition with the emphasis on the Arctic / T.H. Nash, C. Gries // Sci. Total. Environ. – 1995. – Vol. 160–161. – P. 737–747.
276. *National Resource Council (NRC).* Oil in the Sea – Inputs, Fates and Effects // National Academy Press. – Washington: D.C, 1985. – 601 p.
277. *Nriagu J.O.* Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace elements / J.O. Nriagu, J.M. Pacyna // Nature. – 1988. – Vol. 333. – P. 134–139.

278. *Persaud D.* Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario. Ontario / D. Persaud, R. Jaagumagi, A. Hayton // Ministry of the Environment. – Toronto, 1993. – 27 p.
279. *Siberian Light* // Википедия. Свободная энциклопедия [электронный ресурс] // http://ru.wikipedia.org/wiki/Siberian_Light
280. *Shiklomanov I.A.* Studying water, sediment and contaminant runoff of Siberian River / I.A. Shiklomanov, B.G. Skakalsky // Arctic Research of the United States. – 1994. – Vol. 8. – P. 295–306.
281. *Snyder-Conn E.* Soluble trace elements and total mercury in arctic Alaskan snow / E. Snyder-Conn, J.R. Garbarino, G.D. Hoffman, A. Oelkers // Arctic. – 1997. – Vol. 50, N 3. – P. 201–215.
282. *Steinnes E.* Ombrotrophic peat bogs as monitors of trends in atmospheric deposition of pollutants: role of neutron activation analysis in studies of peat samples / E. Steinnes, O. Njastad // J. Radioanal. Nuc. Chem. – 1995. – Vol. 192, N 2. – P. 205–213.
283. *Woodward D.F.* Drilling fluids and the Arctic tundra of Alaska / D.F. Woodward, E. Snyder-Conn, R.G. Riley et al. // Assessing contamination of wetlands habitat and the toxicity to aquatic invertebrates and fish. – Arch. Environ. Contam. Toxicol. – 1988. – Vol. 17. – P. 683–697.
284. *Электронный ресурс* <http://www.admhmao.ru/socium/ekologiya/frame.htm>

Оглавление

Введение	3
Список сокращений	10
Глава 1. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД	11
Глава 2. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАНДШАФТОВ ТУНДРОВОЙ ЗОНЫ	26
2.1. Условия формирования ландшафтно-геохимической структуры	–
2.2. Химические особенности преобладающих типов почв	29
2.3. Элементный состав почв	40
2.4. Типы ландшафтно-геохимических сопряжений и особенности латеральной миграции	46
Глава 3. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАНДШАФТОВ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ	64
3.1. Ландшафтные факторы миграции и аккумуляции веществ	–
3.2. Закономерности распределения химических элементов в почвах	65
3.3. Ландшафтно-геохимическое районирование таежной зоны Западной Сибири (в пределах Тюменской области)	75
Северо-Надым-Пурский округ	77
Казымский округ	81
Округ Сибирские Увалы	84
Белогорский округ	89
Сургутский округ	91
Кондинский округ	95
Юганский округ	98
3.4. Гидрохимические показатели как отражение ландшафтно-геохимической структуры	102
Глава 4. ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИИ ТЕХНОГЕНЕЗА В НЕФТЕ- И ГАЗОДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНАХ	120
4.1. Основные процессы техногенеза и их геохимические последствия	–
4.2. Формы техногенных геохимических преобразований ландшафтов на различных стадиях производственного цикла	123
4.2.1. Стадия геолого-разведочных работ	–
4.2.2. Стадия эксплуатации месторождений	143
4.3. Особенности техногенных потоков нефтяных углеводородов и хлоридов в ландшафтах Западной Сибири	149

Глава 5. РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ . .	156
5.1. Уровень загрязнения атмосферы на участках нефтедобычи	–
5.2. Состав гидросферы как отражение техногенеза	173
5.2.1. Основные закономерности формирования состава поверхностных вод	–
5.2.2. Современный уровень загрязнения поверхностных вод в районах нефтедобычи	196
5.3. Химический состав донных отложений	228
Заключение	234
Литература	238

Научное издание

Дмитрий Валерьевич Московченко

**ЭКОГЕОХИМИЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНОВ
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

*Утверждено к печати Ученым советом
Института проблем освоения Севера СО РАН*

Редактор *Н.А. Лукашова*
Художественный редактор *Н.Ф. Суранова*
Оформление обложки *Л.Н. Ким*
Корректор *В.В. Борисова*
Компьютерная верстка *Н.М. Райзвих*

Подписано в печать 10.10.2013. Формат 70×100¹/₁₆.
Гарнитура Bookman Old Style. Печать офсетная. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 21,0. Уч.-изд. л. 16,6. Тираж 300 экз. Заказ № 1.10136

ООО “Академическое издательство “Гео”
630055, Новосибирск, ул. Мусы Джалиля, 3/1
Тел./факс: (383) 328-31-13, <http://www.izdatgeo.ru>
Отпечатано в ООО “Печатный дом-Новосибирск”
630084, Новосибирск, ул. Лазарева, 33/1
Тел.: (383) 271-01-30

