

На правах рукописи



ФОКИНА Людмила Михайловна

**ФОРМИРОВАНИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ
НЕФТЕГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ. КОМПЛЕКСНЫЙ
МОНИТОРИНГ И ОПТИМАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
МИНИМИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА**

Специальность: 25.00.36 – Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Тюмень - 2007

Работа выполнена в Научно-исследовательском институте природных газов и газовых технологий - ВНИИГАЗ.

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники России Матусевич Владимир Михайлович (Тюменский государственный нефтегазовый университет)

доктор геолого-минералогических наук, профессор
Касьянова Наталья Алексеевна (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова)

доктор географических наук, профессор
Панов Владимир Владимирович (Тверской государственный технический университет)

Ведущая организация: ОАО «ГАЗПРОМГЕОФИЗИКА»

Защита состоится **24 сентября 2007 г.** в 14 час. 00 мин. на заседании регионального диссертационного совета ДМ 003.042.01 при Институте криосферы Земли СО РАН по адресу: г. Тюмень, ул. Малыгина 86, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИКЗ СО РАН по адресу г. Тюмень, ул. Таймырская, д.74.

Автореферат разослан: 12 июля 2007 г.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенные печатью) просим направлять по адресу: 625000, г. Тюмень, а/я 1230, Институт криосферы Земли СО РАН, факсом (8-3452) 68-87-87, ученому секретарю совета.

Ученый секретарь диссертационного совета, доктор геол.-мин. наук



Е.А. Слагода

Введение

Актуальность проблемы. К настоящему времени накоплен определенный опыт в проведении гидрогеологических и экологических исследований крупнейших месторождений севера Западной Сибири, Прикаспия, подземных хранилищ газа (ПХГ), газотранспортных систем, объектов захоронения промстоков, водоснабжения и других. Как правило, это обособленные исследования, не объединенные в единую систему эколого-гидрогеологического мониторинга, вследствие чего недостаточно эффективны. Эффективность может быть достигнута универсализацией и комплексностью наблюдений за состоянием гидросферы.

Эксплуатация газовых месторождений, ПХГ и других объектов приводит к эмиссии в атмосферу и гидросферу посторонних для природных условий углеводородных и других токсичных компонентов. Техногенная миграция углеводородов в гидросфере практически не изучена. Для обоснования защищенности питьевых вод и разработки природоохранных рекомендаций необходимо изучение природно-техногенных систем. Поэтому создание новых технологий экспериментальных исследований, включающих термодинамическое и лабораторное моделирование процессов солеотложения, геомиграции загрязнителей и т.п., является одной из актуальных задач газовой отрасли.

Особо актуальными являются исследования наиболее уязвимых геохимически слабо изученных экосистем газоконденсатных месторождений суб-Арктики, поскольку затраты на природоохранные мероприятия здесь очень высоки.

Расположение Астраханского газо-химического комплекса (ГХК) с высоким содержанием сероводорода в газе вблизи водотоков реки Волга - единственного источника водоснабжения в этом регионе, а также необходимость сохранения уникального рыбохозяйственного комплекса юга России требуют постановки и проведения современного мониторинга подземных вод, являющихся переносчиком различных техногенных компонентов к поверхностным водам.

Таким образом, разработка концепции комплексной системы наблюдений за состоянием гидросферы, оценки и прогноза ее изменений под действием техногенных факторов (эколого-гидрогеологический мониторинг) в настоящее время является актуальной крупной научной проблемой, имеющей важное хозяйственное значение.

Цель работы. Обеспечение рационального природопользования на объектах нефтегазовых комплексов на основе комплексных исследований формирования природно-техногенных систем и современных технологий.

Основные задачи работы:

- провести анализ существующих систем гидрогеологического и экологического контроля за разработкой залежей, транспортом и хранением природного газа, захоронением промстоков, водозаборами хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения; исследовать закономерности формирования природно-техногенных систем в условиях

газового производства и разработать концепцию комплексного эколого-гидрогеологического мониторинга на нефтегазовых объектах;

- на основе концепции комплексного мониторинга исследовать фоновое состояние, закономерности формирования, оценить качество водных и других природных систем типового месторождения суб-Арктики – Заполярное;
- исследовать источники техногенного воздействия, систематизировать компонентный состав жидких и твердых отходов газового производства с позиций частоты присутствия, концентраций, геохимических свойств, нормативных показателей; оценить опасность их воздействия на природные системы суб-Арктики;
- исследовать масштабы распространения углеводородных (жидких и газообразных) загрязнителей в районах эксплуатации нефтегазовых комплексов и на прилегающих территориях. Изучить их геохимические свойства, трансформации в свете решения проблемы загрязнения гидросферы и его индикации. Для минимизации экологического ущерба рекомендовать технологии оценки и локализации нефтяного загрязнения подземных вод;
- разработать и обобщить технологии количественной оценки техногенных процессов на основе экспериментальных исследований природно-техногенных систем и реализовать их в виде рекомендаций по обоснованию защищенности питьевых вод, рациональному водопользованию, природоохранным мероприятиям в условиях эксплуатации нефтегазовых комплексов.

Достоверность результатов. Основные положения и выводы диссертационной работы Л.М. Фокиной базируются на огромном фактическом материале за период 1986-2005 г.г. Результаты экспериментальных исследований и количественной оценки техногенных процессов подтверждены данными многолетних натурных региональных наблюдений. Достоверность полученных результатов и выводов обеспечивается использованием современных методов химического анализа (плазменной спектрометрии и др.), позволяющих существенно повысить представительность и точность результатов, а также применением новейших методов обработки экспериментальных данных, включающих моделирование процессов геомиграции загрязнителей, их физико-химических трансформаций и др.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем:

Новая концепция комплексного эколого-гидрогеологического мониторинга на нефтегазовых объектах впервые объединила ранее обособленные системы гидрогеологического и экологического контроля за разработкой залежей, транспортом и хранением природного газа, захоронением промстоков, водозаборами хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения.

Впервые обобщены новые авторские и данные предшествующих исследований, позволившие более полно и достоверно оценить фоновое

состояние и установить механизмы формирования геохимически слабо изученных природных систем месторождения Заполярное, что расширило представления о Fe-Mn биогеохимической провинции и привело к внедрению нового подхода к нормированию качества водных и почвенных систем, учитывающего региональный фон.

Впервые систематизированы новые авторские данные и сведения других исследователей о распространении жидких и газообразных углеводородов в природно-техногенных системах нефтегазовых районов и прилегающих территорий.

На основе комплексных экспериментальных исследований природно-техногенных систем разработаны технологии – методы и методология количественной оценки и прогнозирования техногенных процессов в условиях газового производства, реализованные в виде рекомендаций по обоснованию защищенности питьевых вод, рациональному водопользованию и природоохранным мероприятиям.

Основные защищаемые положения:

1. Концепция системы комплексного эколого-гидрогеологического мониторинга, созданная на основе анализа связей систем гидрогеологического и экологического контроля на объектах добычи, транспорта и хранения природного газа, позволяет достоверно оценить состояние и прогнозировать трансформации гидросферы под воздействием газового производства, что способствует повышению информативности и оперативности мониторинга.

2. Установлен широкий спектр компонентов геохимического состава природных систем месторождения Заполярное и определены процессы формирования повышенных и низких концентраций более, чем десяти компонентов, связанные с криогенной метаморфизацией, глеегенезом и нефтегазоносностью территории. Установленные характеристики геохимического фона позволяют качественно оценить трансформации природных систем под действием газового производства и предложить рекомендации по рациональному водопользованию и оптимизации природоохранных мер.

3. Установлены приоритетные загрязнители экосистем суб-Арктики на основании систематизации и экологической оценки компонентов жидких и твердых отходов газопромыслов севера Западной Сибири по распространенности, миграционным свойствам, соотношению с природоохранными нормативами. Их использование повысит оперативность и экономическую эффективность мониторинга, а выявленный качественный состав отходов позволит рекомендовать способы утилизации с учетом ландшафтно - климатических условий региона.

4. Установлены количественные показатели концентраций жидких и газообразных углеводородов, возникшие в результате их техногенной миграции в нефтегазовых районах и на прилегающих территориях, на основе сопоставления с фоновыми в глобальном и региональном масштабах. Результаты этой оценки используются в новой технологии сокращения

выбросов углеводородов в атмосферу и для разработки метода индикации загрязнения по геохимически инертным формам газа.

5. Разработаны современные методы, методики, способы, подходы экспериментальных исследований многокомпонентных природно-техногенных систем, формируемых под действием газового производства, которые позволяют количественно оценить и дать прогноз гидрогеохимических и геомиграционных техногенных процессов, установить индикаторы загрязнения для нефтегазовых регионов с различной природно-климатической обстановкой. Эти технологии позволяют обосновывать защищенность питьевых вод и разработать региональные рекомендации по рациональному водопользованию и природоохранным мероприятиям.

Практическая значимость. Полученные в ходе работы теоретические и экспериментальные результаты, а также данные режимных региональных наблюдений были использованы для оценки воздействия на окружающую среду Астраханского газового комплекса («Гидрогеологическое обоснование природоохранных мероприятий и рационального использования природных ресурсов Астраханского газоконденсатного месторождения и прогноз изменения природной среды», 1995 г.).

Рекомендации по рациональному водопользованию и природоохранные (2002-2005 г.г.), а также концепция, технологии и фактические данные эколого-гидрогеологического мониторинга были использованы для обеспечения качественного водоснабжения и повышения эффективности решения природоохранных задач (контроля за захоронением промстоков и др.) при разработке месторождения Заполярное.

Материалы диссертационных исследований привлекались при разработке проекта ООО «Ямбурггаздобыча» «Технологии вторичного вскрытия газоносного пласта при депрессии и равновесии давлений и защита окружающей среды» (2005 г.).

Диссертационная работа в целом положена в основу практического руководства для проведения эколого-гидрогеологического мониторинга на месторождениях Западной Сибири, Прикаспия и других нефтегазовых комплексах. Ряд изложенных в диссертации научных положений вошли в инструктивно-методические рекомендации по проблемам экологии газоконденсатных месторождений и в руководящие документы по гидрогеологическому контролю на специализированных полигонах размещения жидких отходов газового производства.

Личный вклад автора. Автору принадлежит постановка задач исследований, разработка концепции эколого-гидрогеологического мониторинга, основная часть теоретических и экспериментальных исследований. Экспедиционные работы, сбор, анализ и обобщение данных наблюдений других организаций проводились под руководством и непосредственном участии автора.

Автор выражает глубокую благодарность за поддержку при выполнении работы всему коллективу лаборатории «Гидрогеологии, геохимии и геоэкологии» ВНИИГАЗа.

Апробация основных результатов работы осуществлена на секциях Ученого совета ООО «ВНИИГАЗ» по экологии и геологии (2002-2005); Ломоносовских чтениях МГУ (Москва, 1995); международных конгрессах и выставках по экологической гидрогеологии стран Балтийского моря (С.-Пб., 1993), управлению отходами и природоохранным технологиям (Москва, ВэйстТэк-2007), «Вода: Экология и технология» (Москва, ECVATECH - 2002, 2004, 2006), «Экоэффективность-2005» (Москва); международных конференциях «Фундаментальные проблемы нефтегазовой гидрогеологии», «Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности» и др. (Москва, ИПНГ РАН, 2004, 2005, 2007), «Нефть, газ Арктики» и др. (Москва, РГУ НГ им. И. М. Губкина, 2006, 2007), «Состояние, тенденции и проблемы развития нефтегазового потенциала Западной Сибири» (Тюмень, 2006), «Сотрудничество для решения проблемы отходов» (Харьков, 2007), «Криогенные ресурсы полярных регионов» (Салехард, 2007); научно-практическом семинаре «Информационные технологии при разработке месторождений» (Нефтеюганск, ОАО «НК «РОСНЕФТЬ», 2006), научно-практической Южнороссийской конференции «Проблемы бассейнового и геолого-гидродинамического моделирования» (Волгоград, Лукойл-ВолгоградНИПИморнефть, 2006).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 40 научных работ, в том числе 2 методических руководства, 3 научных обзора и 11 статей, опубликованных в научных журналах, рекомендованных ВАК России.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 7 разделов, заключения, списка литературы из 117 наименований, изложена на 302 страницах машинописного текста, содержит 47 рисунков, 96 таблиц.

1. Анализ условий и особенностей эколого-гидрогеологического контроля на объектах добычи, транспорта и хранения природного газа. Накопленный опыт проведения экомониторинговых исследований на объектах газового производства и ряд опубликованных за последнее десятилетие научных трудов и методических рекомендаций по результатам экологического и гидрогеологического мониторинга на месторождениях Западной Сибири (Г.И. Грива, В.Т. Цацульников, Ю.В. Кравцов, А.И. Березняков, Е.В. Волохова, Л.М. Фокина), Прикаспия (К.Е. Питьева, Л.М. Фокина, О.М. Севастьянов и др.), подземных хранилищах газа (Н.С. Немкова, Г.С. Аكوпова, В.И. Смирнов, Б.А. Ильичев, Э.Б. Бухгалтер и др.), газотранспортных системах (Г.А. Ярыгин, В.М. Темкин, В.И. Равикович), полигонах захоронения сточных вод (В.П. Ильченко, В.М. Кирьяшкин и др.), водозаборах хозяйственно-питьевого и технического использования показал, что на объектах ОАО «Газпром» сложилось несколько обособленных способов гидрогеологического контроля.

На разрабатываемых газовых и газоконденсатных месторождениях систематические наблюдения за отдельными компонентами геологической среды проводятся с позиций не экологического, а технологического контроля за разработкой залежей и процессом их обводнения. Контроль за качеством подземных вод неглубокого залегания, используемых для хозяйственно-

питьевого и технического водоснабжения, ведется только на участках водозаборов.

На объектах переработки и подземного хранения газа экомониторинг, как правило, носит локальный характер. Контролируются состояние воздуха атмосферы, почв и снежного покрова в пределах рабочей и санитарно-охраняемых зон. Наблюдения за поверхностными и подземными водами ведутся при расположении водозаборов в пределах зон санитарной охраны. Гидрогеоэкологические исследования защищенности подземных источников питьевого водоснабжения при эксплуатации ПХГ находятся на начальном этапе.

При подземном захоронении сточных вод гидрогеоэкологический мониторинг предполагает использование скважин, обеспечивающих контроль за разработкой залежи, для слежения за поглощающим и буферным горизонтами в случае, если захоронение промстоков осуществляется под разрабатываемые залежи. Верхние водоносные горизонты контролируются на участках водозаборов, предназначенных для технического и хозяйственно-питьевого водоснабжения. Лишь в случае захоронения сточных вод в поглощающие горизонты надпродуктивных отложений в систему гидрогеоэкологического контроля включаются наблюдательные скважины, пробуренные на верхние водоносные горизонты.

На участках газотранспортных систем исследования ограничиваются в основном контролем за качеством газа в процессе его транспортировки и локально (преимущественно на компрессорных станциях) - за состоянием почв, снежного покрова и воздуха атмосферы. Наблюдения за водами неглубокого залегания на участках газопроводов и поверхностными водами вне участков транспортировки практически не проводятся. Принципы и структура проведения производственно-экологического мониторинга на участках газотранспортных систем начали разрабатываться лишь в последние годы.

Исходя из выше упомянутого, можно сделать вывод, что все перечисленные мероприятия по контролю должны быть объединены в единую систему эколого-гидрогеологического мониторинга, основными принципами которого должны стать универсальность и комплексность исследований, обеспечивающих количественную оценку техногенных процессов и обоснование защищенности природных вод. Для решения этих вопросов потребовалось разработать концепцию проведения эколого-гидрогеологического мониторинга на объектах нефтегазовых комплексов.

2. Концепция эколого-гидрогеологического мониторинга на объектах нефтегазовых комплексов

Эколого-гидрогеологический мониторинг - это система наблюдений, оценки и прогноза состояния подземных вод с целью получения информации об условиях их залегания, основных параметрах водонапорной системы, химическом облике вод, их качестве, характере взаимодействия с другими средами, необходимой для контроля за состоянием гидросферы и осуществления мероприятий по ее охране от загрязнения.

Комплексный характер мониторинга должен выражаться в:

- изучении во взаимосвязи с подземными водами речных вод, атмосферных осадков, пород, почв, донных отложений и растительности;
- наблюдении за максимально возможным числом компонентов и источников загрязнения;
- изучении значительного числа природных и техногенных явлений и процессов;
- применении комплексного методического подхода к исследованиям.

Эколого-гидрогеологический мониторинг должен быть составной частью *производственно-экологического мониторинга*. Система эколого-гидрогеологического мониторинга должна включать две подсистемы: *исходной информации* и *управления техногенными процессами* (рис. 1). Первая предназначена для обеспечения данными наблюдений информационно-измерительной сети. Вторая осуществляет функции: - сбора, накопления, обработки измерительной информации; - ведения геоинформационной базы данных; - оценки техногенного воздействия (опасности, ущербов, рисков) на природные воды и их защищенности; - прогноза экологической ситуации.

Информационно-измерительная сеть включает *региональную режимную и специализированную сети*. Первая необходима для комплексных наблюдений за всеми компонентами окружающей среды. Вторая обеспечивает слежение за всеми видами техногенных нарушений.

В *вертикальном гидрогеологическом разрезе* необходимо контролировать разрабатываемые залежи и ответственные за их обводнение водонапорные системы, поглощающий (для размещения жидких отходов) и буферные горизонты, поверхностную гидросферу. Структура информационно-измерительной сети и содержание мониторинга подлежат периодическому пересмотру и корректировке. Наряду с гидрохимическими показателями должны контролироваться гидродинамические и фильтрационные параметры водоносных пластов.

Обработка измерительной информации должна производиться на основе комплекса методов и методик, позволяющего:

- систематизировать основные виды и источники техногенного воздействия;
- изучить фоновое состояние природных вод и их формирование;
- провести типизацию компонентов-загрязнителей и выделить среди них значимые на основании распространения в природно-техногенных системах, геохимических свойств и нормативных показателей;
- выявить и количественно оценить главные механизмы трансформаций загрязнителей в природно-техногенных системах путем проведения теоретических, экспериментальных исследований и натурных региональных наблюдений;
- осуществить типизацию природно-техногенных систем;
- выделить индикаторы загрязнения для типовых природно-техногенных систем и установить универсальные для нефтегазовых районов.

Контроль за процессами загрязнения должен осуществляться с помощью *индикаторов*. Это существенно повысит гибкость и экономичность

мониторинга. Эффективность решения задачи повысится при сочетании методов химического анализа с *биоиндикационным контролем*.

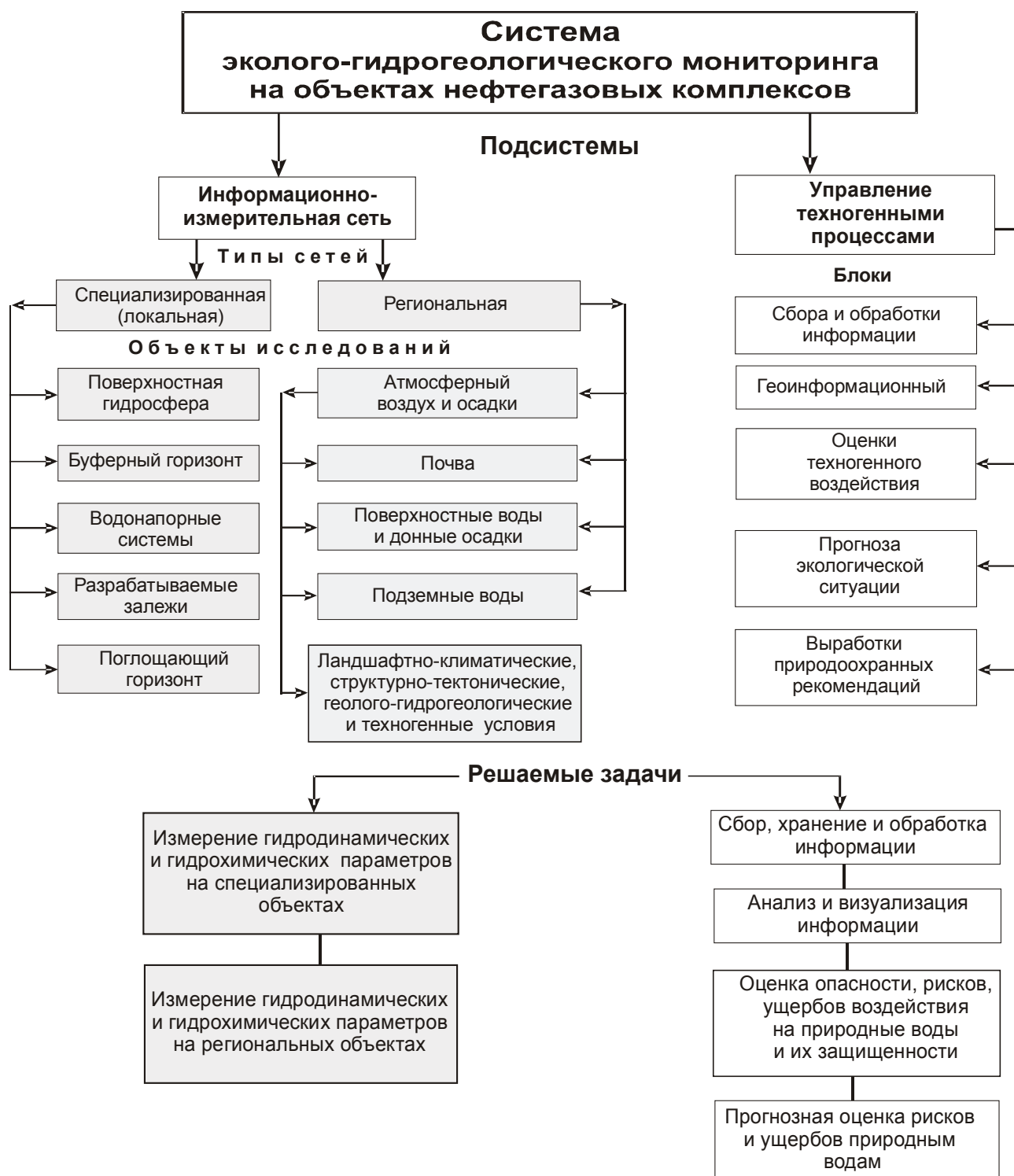


Рис. 1. – Система эколого-гидрогеологического мониторинга на объектах нефтегазовых комплексов

Завершающим этапом функционирования информационно-управляющей подсистемы является разработка природоохранных рекомендаций и мероприятий с указанием их конкретной инженерно-защитной направленности и пределов применимости в различных условиях.

Предложенные в концепции принципы научно обоснованы и апробированы в принципиально разных природно-техногенных системах Астраханского и Заполярного месторождений.

3. Опробование концепции эколого-гидрогеологического мониторинга на Заполярном нефтегазоконденсатном месторождении

Месторождение Заполярное выбрано в качестве типовой природно-техногенной системы суб-Арктики. Задача организации эколого-гидрогеологического мониторинга на этой территории связана с обеспечением качественного водоснабжения поселка Новозаполярный и получения лицензии на закачку промстоков в Государственном комитете по охране окружающей среды Ямало-Ненецкого автономного округа.

3.1. Источники, виды техногенного воздействия и основные объекты экологического контроля.

Основные источники загрязнения природных сред в условиях разработки газовой залежи: техногенные выбросы и растворы, твердые отходы, промышленные и бытовые стоки, конденсационные и пластовые воды.

При обустройстве и эксплуатации сеноманской залежи Заполярного НГКМ проектом запланировано сжигание около 2,7 млрд. м³ газа. Основной объем выбросов (т/год) образуют: CO₂ (2184) > NO₂ (841) > CH₄ (622).

Объемы твердых отходов, включающих бытовые, илы с очистных сооружений, буровой и нефтешлам, составляют тысячи тонн в год. Объемы буровых растворов, сбрасываемых в амбары-накопители, составляют 0,3 м³ на метр проходки.

Водоотведение жидких отходов газового производства (промстоков) на месторождении согласно проекта составляет 48100 м³/год, промышленно-дождевых - 13500, хозяйственно-бытовых - 8700. Очистные сооружения п. Новозаполярный функционируют недостаточно эффективно. Запроектированы три полигона захоронения сточных вод. Однако, на начальном этапе эксплуатации комплекса утилизация твердых и жидких отходов часто осуществлялась путем сжигания, последствия которого вместе с выбросами ДКС ведут к региональному загрязнению атмосферы, снежного покрова, почв и природных вод, угнетению и смене растительности.

На месторождении организована режимная наблюдательная сеть (региональная и специализированная), где *основными объектами контроля* являются УКПГ, полигоны подземного захоронения промстоков (ППЗ), кусты эксплуатационных скважин, трассы метанола - и газопровода, нефтебаза, площадка по складированию и утилизации твердых и жидких бытовых отходов, канализационно-очистные (КОС) и водоочистные сооружения (ВОС).

Систематическому наблюдению подлежат подземные воды и водовмещающие породы казанцевского горизонта, используемого для питьевого водоснабжения. Они имеют локальное распространение по подрусловым таликам рек Б. Хэ-Яха, Юредей-Яха, Толянг-Яха. Опробование скважин водозабора производится с учетом границ зон санитарной охраны в зависимости от размеров талика с частотой контроля 4 раза в год.

Создана сеть скважин, включающая пьезометрические (контролирующие режим водонапорной системы), наблюдательные за перемещением газоводяного контакта и динамикой пластового давления в залежи. Для выявления ранней стадии обводнения залежи проводится гидрохимическое опробование.

Опробование поглощающего сеноманского, подмерзлотного и буферного водоносных горизонтов проводилось 1-2 раза в год. Пункты опробования на участке полигона совмещались со скважинами локальной специальной сети (1 скв. на 10 км²). При опробовании режимной сети за пределами полигона учитывались границы санитарно-защитной зоны.

Контроль за поверхностными водами и донными отложениями осуществлялся с учетом водо-охранных зон, составляющих от 320 м (р. Толянг-Яха) до 1050 м (р. Юредей-Яха). Наблюдения за дождевыми осадками проводились 2-3 раза в год; снегом, почвами, растительностью – 1 раз в год по всей территории месторождения. При этом помимо расположения техногенных объектов учитывалось направление розы ветров.

На начальном этапе эколого-гидрогеологического мониторинга в соответствии с функциями подсистемы управления техногенными процессами осуществлялись сбор, накопление, обработка и систематизация геолого-гидрогеохимической информации.

3.2. Комплексное геолого-гидрогеологическое и геохимическое обоснование фоновое состояние и формирования атмосферы, природных вод и пород верхней части разреза.

3.2.1 Ландшафтно-климатические, геолого-гидрогеологические и геоэкологические условия месторождения.

С ландшафтных позиций район относится к тундровому глеекриоморфному поясу, Северо-Сибирской мерзлотной области, тундровой подобласти. Почвы на территории - глеево-слабоподзолистые и подзолистые иллювиально-гумусовые бореального пояса.

В геологическом строении Заполярного месторождения принимают участие осадочные отложения мезо-кайнозойского возраста мощностью более 3600 м, представленные в основном чередованием песчаников, глин, алевролитов, аргиллитов. Поверхность представлена: на севере ледниково-морскими отложениями салехардской свиты, на остальной части территории - прибрежно-морскими, реже озерно-аллювиальными отложениями казанцевской свиты. Температура в верхней части ММП территории близки и на глубине нейтрального слоя - (5-7) °С, далее от глубины 6 м до 100 м она повышается до -2° С и в зоне подмерзлотного слоя достигает 0 °С.

В тектоническом отношении месторождение приурочено к одноименному поднятию, осложняющему северо-западную часть Тазовского свода. Газоносность месторождения связана с отложениями верхнего и нижнего мела.

В гидрогеологическом отношении месторождение расположено в центральной части внутренней зоны Западно-Сибирского мегабассейна, в разрезе осадочного чехла которого выделяются 2 самостоятельных гидрогеологических этажа: мезозойский и кайнозойский, разделенные мощным региональным турон-палеоценовым водоупором. *Нижний гидрогеологический*

этаж содержит напорные воды и включает три водоносных комплекса: апт-альб-сеноманский, готерив-баррем-валанжинский (неокомский) и юрский. *Верхний гидрогеологический этаж* (зона активного водообмена) представлен палеоген-четвертичным и (турон-сенонским) водоносными комплексами, залегающими в условиях многолетней мерзлоты. Палеоген-четвертичный водоносный комплекс образуют: - надмерзлотные воды сезонно-талого слоя; - надмерзлотно-межмерзлотные воды несквозных таликов (используются для питьевого водоснабжения); - межмерзлотные (подмерзлотные) пресные воды в долинах крупных рек на юге территории; - подмерзлотные воды.

3.2.2 Химический состав и качество воздуха и осадков атмосферы.

Основными газами атмосферы Заполярного месторождения являются $N_2 > O_2$, среди углеводородов преобладают (сотни $мкг/м^3$) пропан > этан > н-бутан > бутен.

В микрокомпонентном составе воздуха повышены (до тысяч $нг/м^3$) концентрации $Na > Al > Ca$, в меньшей степени (сотни $нг/м^3$) - $Mg > Si > Fe > Ni > Zn > Cr > Ti$. Они в несколько раз - на порядок превышают фоновые значения для воздуха арктических, континентальных районов, но, как и углеводороды, соответствуют гигиеническим нормативам.

Дождевые осадки территории имеют минерализацию около 40 мг/дм^3 хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатный кальций-натрий-магниевый состав, нейтральные-слабокислые значения pH и положительные Eh; снеговые осадки более минерализованные ($46-155 \text{ мг/дм}^3$) хлоридно-гидрокарбонатного кальций-магний-натриевого состава.

Было установлено, что воздух и осадки атмосферы имеют в целом сходный элементный состав, который формируется под влиянием океана и испарения с поверхности водоемов, эманаций газоконденсатной залежи ($C_2 > C_3 > C_5 > i, n C_4$) и криогенной метаморфизации, при участии почвенных газов, частиц и трансграничного переноса.

Относительно других месторождений суб-Арктики и аридной зоны осадки Заполярного месторождения более минерализованные с повышенными концентрациями Mg, Ca, биогенных (до единиц $мг/дм^3$) и микроэлементов: $Si (0.2 - 0.8) > Fe, F (0.1-0.3) > Al, Mn (0.1) > Br (0.05) > Zn(0.02) > Hg (0.0005$. Превышают предельно допустимые концентрации (ПДК) рыбохозяйственного ГОСТа в осадках концентрации: $Mn, Cu (10) > Li, Hg (5) > Fe, Al, Zn (2-3)$.

3.2.3 Литолого-геохимический состав пород. Литологические разности четвертичных отложений верхней части разреза представлены средними, мелкими, пылеватыми песками, суглинками и глинами с включениями гравийно-галечного материала, растительных остатков, прослоев и линз торфа.

В химическом составе четвертичных отложений преобладают нерастворимые силикатные соединения, повышено содержание органических, биогенных веществ, полуторных окислов (2 - 6.5 %). Доля карбонатов Ca, Mg и гипса невелика (до 2.5 %).

Характер распределения влажностных свойств, минерализации ($90 - 1220 \text{ мг/100г}$), жесткости (до 8 мг-экв/100 г) водных вытяжек и содержание в них биогенных, органических соединений в отдельных разностях четвертичных

отложений сходный с максимальными значениями в торфе, минимальными в донных отложениях и промежуточными в породах. Среди анионов в воднорастворимых соединениях пород преобладает гидрокарбонат, донных отложений - сульфат. Катионный состав водных вытяжек песчаных пород - кальций-натриевый, торфа – кальций-магниевый, донных отложений – натрий-магниевый. Значения pH водных вытяжек слабокислые, Eh - низкие положительные. В составе обменных катионов четвертичных отложений преобладает соотношение $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$, менее выраженное в торфе.

Макрокомпоненты по содержанию в породах (от тысяч до десятков тысяч г/т) образуют ряд: $\text{Si} > \text{Al} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{K} > \text{Na} > \text{Ca}$. Содержание основных микрокомпонентов пород от десятков- сотен до тысяч г/т: $\text{Zr} (2250) > \text{Ti} (706) > \text{Ba} (600) > \text{Mn} (540) > \text{Sr} (190) > \text{Cr}, \text{V}, \text{B} (60) > \text{Zn}, \text{Rb} (54) > \text{Li}, \text{Cu}, \text{Ga}, \text{La} (30) > \text{Ni}, \text{Sn}, \text{Hf} (16) > \text{Co}, \text{Sc}, \text{As} (6-8)$. Для многих элементов оно повышено относительно кларкового для песчаников.

Содержание слабо подвижных карбонатных форм элементов в породах изменяется в диапазоне от единиц-десятков до сотен-тысяч и десятков тысяч г/т: $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Al} > \text{Si} > \text{Ni} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Cr}$, в донных отложениях - на порядок ниже. По ряду элементов (Mn, Cr, Ni) оно превышает ПДК. Содержание легкоподвижных водорастворимых форм элементов пород - от десятых - единиц до десятков и сотен г/т: $\text{Ca}, \text{Na} (210-380) > \text{Mg}, \text{K}, \text{Al}, \text{Si}, \text{Fe}, \text{Br} (30-80) > \text{Sr} (15) > \text{Mn} (8.8) > \text{Li} (0.2)$.

По геохимическим свойствам в составе пород присутствуют амфотерные (Al), щелочные ($\text{K} > \text{Na} > \text{Rb} > \text{Li}$), щелочно-земельные ($\text{Mg} > \text{Ca} > \text{Ba} > \text{Sr}$), тяжелые металлы ($\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Cr} > \text{V} > \text{Zn} > \text{Ni}$), Ti и его аналог Zr, лантаноиды. Сходные по геохимическим свойствам макро- и микроэлементы имеют близкий характер распределения в породах, высокие корреляционные связи между собой и с гранулометрическим составом.

Макрокомпоненты образуют алюмосиликатные, в том числе глинистые, карбонатные, гидроокисные минералы и соли. В них в изоморфном, рассеянном, реже в виде самостоятельных минералов распределены микроэлементы. Формируется минеральный и химический состав четвертичных отложений за счет питающих ледниковые покровы Новоземельской и Североуральской провинций и механической дифференциации обломочного материала.

В почвах состав и соотношения содержания элементов с кларковыми аналогичны установленным для пород. В них повышено содержание Ti, Fe, Cr, Ni - относительно пород; Hg > Na, V, Cr - относительно фонового для объекта-аналога; As, Mn, V, Cr, Co - относительно ПДК.

3.2.4 Состав поверхностных и подземных вод. Систематизация компонентов состава природных вод Заполярного месторождения по частоте присутствия и концентрациям, геохимическим свойствам, соотношению с фоновыми для вод в сходных ландшафтно-климатических условиях, соотношению с нормативами водопользования показала следующее.

Воды пресные и ультрапресные (0.1 - 0.2 г/дм³) очень мягкие гидрокарбонатно-хлоридные натрий-кальций-магниевые (в озерах натрий-

магний-кальциевые) с повышенным содержанием сульфатов. В их микрокомпонентном составе присутствует более 20 элементов, среди них постоянно: аниогенные Si, Br, I; амфотерный Al; щелочноземельные Sr, Ba и тяжелые металлы Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cr, Hg. Концентрации микроэлементов (от менее тысячных долей до десятков и единиц мг/дм³) - наибольшие в подземных водах: Fe, Si (2-15) > Mn (0.4-1.7) > Al, Br (0.3-0.5) > Zn, Sr, Ba, Ni (0.1-0.2) > Cr (0.01) > Hg (0.0002).

Поверхностные воды Заполярного месторождения в сравнении с реками России (в частности, с рекой Обь) менее минерализованные с повышенным содержанием Cl, C_{орг}. По макросоставу и pH они близки рекам п-ова Ямал. Концентрация многих микрокомпонентов в них выше фоновых для гумидной зоны (Ni > Cu, Mn, Fe > Zn, Cr, Ba, Sr; S); бора - относительно фоновых для мерзлотных ландшафтно-климатических условий.

Подземные воды относительно поверхностных более минерализованные преимущественно нейтральные с более низкими Eh, в них выше концентрации биогенных, органических веществ и ряда микрокомпонентов (Fe, Mn, Si, Al).

Минерализация, концентрации растворенных газов (O₂, CO₂, H₂S), микрокомпонентов в подземных водах в целом соответствуют фоновым для гумидной (тундровой) с повышенным содержанием органических веществ в слабоминерализованных водах зоны; повышены концентрации Cl⁻, SO₄²⁻, Mg²⁺ и pH, понижены - значения Eh.

Проведенный анализ состава природных вод указывает на формирование в обедненных карбонатами кальция, магния песчано-глинистых аллювиальных отложениях, при существенной роли морских отложений, криогенной метаморфизации, глеегенеза и нефтегазоносности территории.

С позиций водопользования содержание макрокомпонентов не превышает предельно допустимого; минерализация, концентрации Ca и Mg понижены относительно оптимального уровня. Не соответствуют нормативам слабокислые значения pH, окисляемости, биологическое потребление кислорода (БПК); повышены - концентрации аммония, фосфора, нафтен (десятые - единицы мг/дм³), фенолов (тысячные мг/дм³) и большинства микрокомпонентов.

4. Исследование влияния компонентов жидких и твердых отходов газового производства на природные системы суб-Арктики

4.1. Реагенты, применяемые для интенсификации добычи газа. К ним относятся метанол, гликоли, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), ингибиторы коррозии, хлористый кальций, соляная и плавиковая кислоты, а также их производные и продукты трансформаций.

Метанол и гликоли используются в значительном количестве для осушки газа, предотвращения гидратообразования, спиртокислотных обработок. При больших концентрациях примесей в насыщенном растворе метанола его утилизацию проводят путем закачки в пласт и сжигания, чем наносят вред окружающей среде. Фактические потери метанола на промыслах в 2-3 раза превышают равновесные. Ди- (ДЭГ) и триэтиленгликоли устойчивы к биодеструкции. Общие удельные потери ДЭГа составляют 15 - 30 г/1000 м³.

Фенолы обнаруживаются в рефлюксных жидкостях установок осушки в концентрациях до 200 - 300 мг/дм³, где образуются за счет реакции ДЭГа с ароматическими углеводородами газа. Очистка вод от фенолов составляет актуальную проблему отрасли, поскольку это соединение из категории особо вредных.

Использование *СПАВ* необходимо для интенсификации замещения воды газом в водоносных пластах и для промывок оборудования. Их содержание в отходах производства может достигать до 50 мг/дм³. СПАВ проникают на глубину до 300 м. Их длительное воздействие в концентрациях 0,5 мг/дм³ в водопроводной воде опасно для человека. Концентрация 20 мг/дм³ остротоксична для большинства гидробионтов.

Ингибиторы коррозии - азотсодержащие ПАВ, используемые для защиты оборудования на месторождениях, содержащих примеси кислых газов. Объемы потребления ПАВ - 2500 т в год. Их токсичность и кумулятивные свойства должны быть представлены в сертификате, дающем право на использование.

Хлористый кальций используется повсеместно на месторождениях суб-Арктики для борьбы с образованием кристаллогидратов газа, токсическим действием не обладает.

Кислотные обработки (соляная, не редко плавиковая и др.) используют для восстановления приемистости пласта. При этом HF может растворять как карбонатные образования, так и породообразующие силикаты.

4.2. Вещества и материалы, используемые и образующиеся в бурении.

Буровые растворы пресные и соленые (до 3 г/дм³) жесткие хлоридные кальциево-натриевые. В них повышено содержание органических веществ (22 мг/дм³), концентрации нафтеннов, аммония, микрокомпонентов - от десятых до единиц мг/дм³, фенолов - тысячные.

По сравнению с поверхностными и подземными водами неглубокого залегания буровые растворы более минерализованные. В них (на порядок и более) повышены концентрации ионов Cl, Ca, Na, K, в меньшей степени (в несколько раз) - SO₄²⁻, HCO₃⁻; содержание биогенных, органических веществ и микрокомпонентов - невысокое.

Относительно нормативов хозяйственно-питьевого ГОСТа буровые растворы более минерализованные (3 ПДК) жесткие (4 ПДК) с неприятным запахом сероводорода (> ПДК). В них повышено содержание хлор - иона (5 ПДК), натрия, фенолов (2 ПДК), брома (5 ПДК), незначительно нафтеннов. Относительно рыбохозяйственных нормативов для поверхностных вод в буровых растворах повышены концентрации фенолов (2 ПДК) и большинства микрокомпонентов (Mn, Ni - до 20-30 ПДК; Al, Fe - до 2-5 ПДК).

Техногенная метаморфизация природных вод под действием буровых растворов приведет к изменению их макросостава по ряду компонентов (Na, Cl, Ca, Mg), что улучшит их качество по катионам.

Отработанные буровые растворы (ОБР) и *буровой шлам* (БШ) значительно опасней для природных экосистем, чем исходные жидкости. Их элементный состав более разнообразен, а концентрации макро - и

микрокомпонентов (более 40, в том числе Hg, Be, радиоактивные U, Th, Cs) в несколько раз выше. Органические вещества представлены алканами и ксилолами нефти (до 10 мг/дм³). Миграция токсикантов в почву и природные воды при действии кислых осадков и жидких отходов производства на БШ может привести к угнетению фитоценозов и гибели гидробионтов. Ситуация усугубляется тем, что содержание многих металлов в шламе превышает ПДК для почв. Экологический контроль за состоянием ОБР включает оценку их влияния на органолептические свойства воды, общий санитарный режим водоемов, планктон и гидробионты.

4.3. Компоненты жидких отходов газового производства представляют собой растворы сложного химического состава, содержащие примеси (иногда значительные по объему) взвешенных жидких, твердых и газообразных веществ. В общем случае они состоят из: попутных подземных вод, выносимых эксплуатационными и разведочными скважинами, различных технических жидкостей (метанол; гликоли и др.) и растворов бурения.

Попутные подземные воды являются водной частью жидкостной фазы продукции добывающих скважин, поступающей вместе с газом, углеводородным конденсатом и нефтью и отделяющейся от них в процессе сепарации. Они представляют собой сложные смеси, в состав которых в различных объемных соотношениях входят конденсационная, остаточная порово-капиллярная и пластовая вода разрабатываемых газовых залежей. Конденсационная и остаточная поровая вода выносятся в составе газа на ранней стадии разработки месторождения.

Конденсационные воды маломинерализованные слабокислые хлоридно-кальциевые с повышенным содержанием гидрокарбоната. Они чрезвычайно агрессивны по отношению к коммуникациям и содержат в своем составе всю гамму токсичных микрокомпонентов, мг/дм³: B, Br, Sr, Ba, F (4 -1) > Si, I (0,6) > Mn, Zn, Li, Rb (0-0,3) > Cu (0-0,1) > Cr, Bi (0,07-0,02) > Hg (0,006) и растворенных органических веществ.

По сравнению с природными водами неглубокого залегания конденсационные воды более минерализованные (0.5 - 0.9 г/дм³). В них повышены концентрации гидрокарбоната, натрия, кальция, хлор-иона и ряда микроэлементов (Br, Sr, Ba, Mn). С позиций водопользования конденсационные воды окажут слабое влияние на состав приповерхностных вод по макрокомпонентам и даже улучшат их качество; по микрокомпонентам ситуация более опасна.

Остаточные воды сильноминерализованные (12 - 23 г/дм³) сульфатного и хлоридного типов, по составу и минерализации близки водам сеноманского водоносного комплекса. Соответствуют пластовым концентрации в них ионов кальция, натрия, хлора; повышены - сульфата и гидрокарбоната.

Состав пластовых вод сеноманских отложений на Заполярном, Уренгойском, Ямбургском, Медвежьем месторождениях сходный, что свидетельствует о том, что на севере Западной Сибири они образуют единый водоносный комплекс.

По своему гидрохимическому облику воды сеномана относятся к метаморфизованным водам хлоридно-кальциевого типа. Их минерализация варьирует в пределах 15-20 г/дм³. Содержание хлоридов изменяется в диапазоне 7-111 г/дм³, сульфатных ионов - невелико (< 50 мг/дм³). Концентрации катионов составляют, мг/дм³: натрия (6000-7000) > кальция (200-300) > магния (60-140) > калия (20-70). В солевом составе преобладает NaCl, далее в порядке убывания следуют CaCl₂ > Ca(HCO₃)₂ > MgCl₂ > CaSO₄.

Пластовые воды обогащены органическими веществами: C_{орг} - десятки, фенолов и нафтен - от десятых до единиц, бензола - тысячные - сотые мг/дм³. Среди биогенных соединений в них преобладает аммоний, мг/дм³: NH₄ (3 - 40) > NO₃ (4.8) > PO₄ (0.1 - 2.5) > NO₂ (0.2 - 0.3). Концентрации микрокомпонентов в сеноманской воде - от сотых до десятков мг/дм³: Sr (18- 120) > Br (40-70) > I, Ba (10-26) > Si, B (2-18) > Mn, Zn (0,1-4,6) > F, Li (0,2-2) > Rb, Cu, Al (0,1-0,3) > Cr, Pb, Cd, Ag, Co (0,01-0,5) > Hg, Bi (0,01-0,06). Из радиоизотопов обнаружены (Уренгойское ГКМ) устойчивые во времени радий (период полураспада 1620 лет) и торий.

По сравнению с поверхностными и подземными водами четвертичных отложений (Q_{III-IV}) сеноманская вода более минерализованная жесткая со значительно (на несколько порядков) превышающими нормативы водопользования концентрациями ионов хлора, натрия, в меньшей степени - гидрокарбоната, кальция, магния. В ней (на порядок и более) повышены концентрациями аммония и нитратов, C_{орг}, нафтен и фенолов, среди микрокомпонентов - Br, I, B, Sr, Ba. Следовательно, последствия загрязнения поверхностной гидросферы водами сеномана будут существенны, тем более, что фоновые концентрации многих компонентов в приповерхностных водах (C_ф) изначально превышают нормативы водопользования, C_ф/ПДК-ХП в водах казанцевского горизонта Заполярного НГКМ: Fe (18-70) > Mn (3-17) > Br, Al (3) > Si, Ni, Ba (1-2); C_ф/ПДК-РХ в поверхностных водах: Cu (300) > Fe, Mn (30-70) > Al (4.5-35) > Hg (17) > Ni (10) > Zn (7) > Be (1.3).

Воды неокомского газоводоносного комплекса, подстилающего апт-сеноманский, разрабатываются на газ на Уренгойском, Ямбургском и в перспективе Заполярном НГКМ. В отличие от сеноманских в них повышены концентрации гидрокарбоната (500-1500 мг/дм³) и pH до значений, обеспечивающих образование карбонатов (12 - 24 мг/дм³). Это свидетельствует о явлении гидрогеохимической инверсии, характерном для глубоких вод севера Западной Сибири и проявляющемся в уменьшении вниз по разрезу их минерализации (до 2- 4 г/дм³) и изменении геохимического типа из хлоридно-кальциевого в гидрокарбонатно-натриевый. Воды неокомского комплекса обогащены микрокомпонентами (2 - 20 мг/дм³ B, Br, I), аммонием (до 60 мг/дм³) и нафтенами (0.1-1.7 мг/дм³).

Состав жидких отходов газопромыслов варьирует в широких пределах в зависимости от состава и количества отработанных технических жидкостей и буровых растворов, сопутствующих газоконденсату подземных вод. Поэтому при их утилизации путем закачки в пласт необходим контроль за качеством составляющих компонентов и в случае необходимости - очистка.

Нормируемыми показателями состава промстоков, подлежащих захоронению, являются: содержание механических примесей (до 300 мг/дм³), нефтепродуктов (до 150 мг/дм³), сероводорода (до 15 мг/дм³), диэтиленгликоля (до 1 г/дм³), метанола (менее 40 г/дм³), окисного железа (не выше 3 мг/дм³). Нормируется также совместимость стоков с пластовой водой и породой (снижение проницаемости в результате солеобразования не более 20 %).

Минерализация жидких отходов газового производства варьирует в широких пределах (150-4000 мг/дм³), химический состав меняется от хлоридно-кальциевого до гидрокарбонатно-натриевого, значения pH - от слабокислых до нейтральных. В составе промстоков присутствуют азотные соединения (0,02 - 1,2 мг/дм³), нефтепродукты (1 - 100 мг/дм³), взвешенные вещества, в больших количествах метанол (0,3- 50 г/дм³), диэтиленгликоль (1 - 7 мг/дм³), ряд токсичных микроэлементов, мг/дм³: Fe (4-36) > Sr, Ba (0,2-14) > Al, Zn (0,1-2) > Li, Cr, Cu, Mn, Ni (0,01 - 0,6) > Pb, Hg, Cd, Co (0,002 - 0,03). Обнаружены радиоизотопы (радий, торий) в концентрациях (100 - 1500 пКи/дм³), превышающих таковые в пластовых водах.

На Заполярном НГКМ жидкие отходы маломинерализованные слабощелочные с высокими концентрациями нефтепродуктов (до 3 г/дм³), метанола (3 - 600 г/дм³), ДЭГа (30 -900 мг/дм³), железа (2 - 9 мг/дм³) и, возможно, хлористого кальция. Причем, очистные сооружения на сегодня обеспечивают очистку закачиваемых стоков только по механическим примесям.

По сравнению с природными водами и нормативами водопользования в промстоках газопромыслов севера Западной Сибири повышены минерализация, концентрации макро- (Cl, Na, Ca, SO₄) и многих микрокомпонентов (Al, Sr, Ba, Zn, Cr, Hg), нефтепродуктов (> 10 ПДК), метанола и ДЭГа. По мере обводнения залежи при ее разработке эксплуатационными скважинами будет выноситься все большее количество пластовой воды. В результате минерализация и концентрации компонентов в отходах производства будут постоянно увеличиваться.

4.4. Компоненты хозяйственно - бытовых стоков КОС, ВОС характеризуются стабильностью объемов, относительной выдержанностью химического состава и физических свойств. Это маломинерализованные HCO₃Na, HCO₃CaMg воды с повышенным содержанием хлоридов и сульфатов нейтральными значениями pH и положительными Eh.

Концентрации в бытовых стоках C_{орг}, нефтенов и соединений азота - единицы, фосфатов - десятые, фенолов - тысячные, микрокомпонентов - от десятых (Cr, Ni, Br, Al) до единиц (Si, Fe, Mn) мг/дм³.

По макросоставу и минерализации стоки ВОС близки поверхностным и неглубоким подземным водам (водозабор Пионерный). Стоки КОС несколько более минерализованные жесткие с повышенными концентрациями Na⁺, Cl⁻ и HCO₃⁻. Концентрации нефтенов, соединений азота и хрома в бытовых стоках относительно приповерхностных вод повышены.

С позиций водопользования концентрации макрокомпонентов в бытовых стоках низкие, даже по минимальным значениям. По сравнению с нормативами

для питьевых вод в стоках очистных сооружений повышены концентрации нафтен (4 ПДК), фенолов (1 - 5 ПДК) и микрокомпонентов: Fe (7 ПДК) > Cr (1 - 10 ПДК) > Ni, Mn (3 - 2 ПДК) > Si (1 ПДК); понижено - БПК. Нормативы рыбохозяйственного ГОСТа значительно превышают концентрации в стоках соединений азота (10 - 15 ПДК) и микрокомпонентов (Fe, Mn, Cr, Ni, Al).

Из вышесказанного следует, что хозяйственно-бытовые стоки нефтегазопромыслов, не представляющие опасности для природных вод по концентрациям макрокомпонентов, являются значимыми загрязнителями водных экосистем по микрокомпонентам (Fe, Mn, Cr, Ni, Al, Si), аммоний и нафтенам, фоновые концентрации которых в воде изначально превышают нормативы водопользования.

Утилизацию хозяйственно-бытовых стоков газопромыслов Западной Сибири рекомендовано также проводить путем закачки в пласт-коллектор, поскольку их очистка технологическими приемами, используемыми на КОС в условиях Средней полосы, не достаточно эффективна.

5. Исследование загрязнения водной среды углеводородными загрязнителями

5.1. Загрязнение водной среды нефтепродуктами и выявление механизмов ее самоочищения. Показатель одного из наиболее распространенных и опасных видов загрязнения гидросферы - растворимость нефти и нефтепродуктов в воде. Нефть - сложный продукт, состоящий из множества углеводородов, принадлежащих различным классам органических соединений. Их соотношение и свойства во многом определяют растворимость и токсическое действие нефти и ее производных. Поэтому в разделе рассматриваются свойства нефти и нефтепродуктов, источники и масштабы загрязнения нефтепродуктами поверхностных и подземных вод, атмосферных осадков и пород зоны аэрации. Исследуются трансформации углеводородов в водной среде и механизмы ее самоочищения. Особое внимание уделяется загрязнению водных экосистем в нефтегазовых районах.

Источниками загрязнения природных вод и почвогрунтов нефтепродуктами на территории нефтегазовых комплексов помимо аварийных и систематических утечек при добыче, транспорте и хранении в наземных и подземных резервуарах являются: дизельные топлива, нефть и прямогонный бензин, используемые в качестве не растворителя при размыве каверн в практике работ на ПХГ в соляных пластах; нефтешламы; жидкие отходы производства, подлежащие захоронению в пласт-коллектор, и бытовые стоки.

Вынос нефтепродуктов в бассейнах рек нефтегазовых регионов, млн. т: Оби - 0,14, Енисея - 0,24, Волги - 0,06. На отдельных участках рек концентрации нефтепродуктов превышают 1 мг/дм³, на р. Обь они увеличиваются вниз по течению в связи с потерями газопромыслов.

На Заполярном НГКМ нефть неокмского комплекса относится к типу малосернистых (< 0.5 %), малосмолистых (2.6-3.5 %), парафиновых (4.7-5.2 %). В ее групповом углеводородном составе кроме парафинов (50-54 вес. %)

преобладают нафтены (30-34 вес. %) и ароматические углеводороды (16-21. вес. %). *Стоки УКПГ* характеризуются высокими концентрациями нефтепродуктов (мг/дм³) по общему содержанию (93150), пленочным (62100) и растворенным формам (111-427 до 3028).

Фоновые концентрации нефтепродуктов в снеговых осадках (1996 г.), поверхностных и подземных водах (водозабор Пионерный) четвертичных отложений (Q_{III} kz) следовые; в водах сеноманского комплекса - 2-8 мг/дм³. При разработке месторождения в снеговых осадках они повысились до 0,22-0,29 мг/дм³ с отдельными значениями (0,69 мг/дм³), превышающими ПДК.

На Бованенковском НГКМ фоновые концентрации нефтепродуктов в поверхностных водах и снеговых осадках от десятых до единиц мг/дм³: в снеговых осадках - от 0,1 до 1,6 (1995-1996 г.г.); в речных водах - от 0 - 0,15 (1990 г.) до 0,9-6,9 (2002 г.); в озерах - от 1,1-1,6 на водоразделах до 0,3-6,4 на пойменных участках. Повышенные концентрации обусловлены влиянием объектов пионерного выхода, характером рельефа (участки пойм), сезонной динамикой (период снеготаяния для рек).

На Уренгойском НГКМ многолетними (более 20 лет) гидрохимическими исследованиям установлено локальное и периодическое загрязнение водных сред нефтепродуктами, степень которого, начиная с 1983 г., практически не увеличивается. В стоках УКПГ содержание нефтепродуктов в мг/дм³ - от 7 - 24 до 52 после нефтеловушки; в хозяйственно-бытовых на выходе КОС - 0,46, на площадке сброса (болотные воды) - 6,5.

В снеговых осадках территории содержание нефтепродуктов на участках городских водозаборов - 0,3-0,4; промзоны 1-1,7 мг/дм³. В поверхностных водах территории прослеживается неоднородность загрязнения нефтепродуктами: наибольшие концентрации отмечаются на участках УКПГ-11-13,15, на периферии загрязнение меньше, чем в центральной части месторождения. На участке УКПГ-1 АС-2,8 в 1980 году нефтепродукты не обнаружены. Позднее (1990-1995 гг.) их средние концентрации на участках УКПГ-1АС-10 превышали ПДК в 2-7 раз, но были сравнительно невысокие. На севере месторождения концентрации нефтепродуктов составляли 1- 1,6 мг/ дм³, что почти в 5 раз больше ПДК.

Подземные воды межмерзлотных горизонтов (Pq_3-Q_{I-II}) Уренгойского месторождения по результатам наблюдений 1982-1986 и 1994-1995 гг. характеризуются концентрациями нефтепродуктов от 0,05 до 6,9 мг/дм³. На первом этапе превышения ПДК были обнаружены на всех обследованных водозаборах; на втором этапе - на девяти из 11. Пониженные концентрации нефтепродуктов в подземных водах в сравнении с поверхностными свидетельствуют о поверхностном источнике их загрязнения.

Подзолистые иллювиально-железистые почвы севера Западной Сибири характеризуются содержанием нефтепродуктов от десятков до сотен г/т: 8-14 на Заполярном, 10-135 на Бованенковском НГКМ. Содержание битумоидов гумуса в почвах – от < 1 до 800 г/т (до 2,4% от общего гумуса). Содержание ПАУ, входящих в состав битумоидов, в иллювиально-железистых почвах 5-17 нг/г в верхних горизонтах, в нижних – значительно больше. Формируется столь

высокое содержание нефтепродуктов в почвах за счет слабо выраженных процессов микробиологической деятельности в условиях низких температур и короткого летнего периода.

На Астраханском ГКМ концентрации нефтепродуктов в используемых для питьевого водоснабжения поверхностных водах Волго-Ахтубинского междуречья - от “следовых” до нескольких мг/дм³; в р. Волга в районе г. Волгограда (1981-1985 г.г.) - 0,10 мг/дм³; в районе г. Астрахань (0,18-0,25 мг/дм³) и в Каспийском море (0,15 мг/дм³) несколько выше, повышенные значения связаны с судоходством.

В водах четвертичных отложений ($Q_{III} \text{ } h_v - Q_{II} \text{ } h_z$) содержание нефтепродуктов - от “следовых” до нескольких десятков мг/дм³, преимущественно 0,5 мг/дм³. Участки с содержанием выше “следовых” (0,5 до 4 и > мг/дм³) приурочены к автодорожным магистралям, складам хранения, производственным объектам (факелам и др.). Участки с повышенным содержанием локальны (ЗПО, ГПЗ и др.), образуются за счет аварийных утечек и существуют недолго. В условиях аридного климата территории “пятно” нефтепродуктов за несколько дней уменьшается на 30 %.

Распределение нефтепродуктов, битумоидов и ПАУ в почвах Прикаспия и Астраханского ГКМ связано с их типом и положением в геохимическом ландшафте. Пойменные аллювиальные почвы способны накапливать наибольшие количества органики, на буграх Бэра ее разрушение происходит быстрее. ПАУ мигрируют сверху вниз, обогащая нижние горизонты. Высокое содержание битумоидов прослеживается в бурых пустынных почвах на участках с. Верхнелебяжье - с. Сеитовка (250 г/т) и в пойменных аллювиально-глеевых почвах (с. Красный Яр, 750 г/т). Превышение фона (22-543 до 44000 г/т) в большинстве случаев коррелируется с автомагистралями. Содержание ПАУ в почвах Прикаспия низкое (0,3-2,5 до 12,7) с отдельными превышениями фона и ПДК (22-171 нг/г) в с. Сеитовка и с. Красный Яр.

Территория Оренбургского НГКМ характеризуется относительно невысокими концентрациями (мг/дм³) нефтепродуктов в р. Урал (0,025-0,25) и его притоках (0,18-0,35). В воде водозаборных скважин, эксплуатирующих водоносные горизонты четвертичных, плиоценовых, среднеюрских и верхнепермских отложений нефтепродукты либо не обнаруживаются, либо их концентрации не превышают 0,05-0,25 мг/дм³.

На объектах ПХГ формируются производственные стоки и поверхностные ливнево-талые воды с содержанием нефтепродуктов от десятков до сотен и тысяч мг/дм³. На Касимовском ПХГ, расположенном в средней полосе России, нефтепродукты обнаружены в поверхностных водах и подземных водозаборах, эксплуатирующих подольско-мячковский и каширский водоносные горизонты. Их концентрации невысокие, по отдельным значениям превышают ПДК. Фоновое содержание битумоидов гумуса в дерново-подзолистых песчаных почвах Рязанской области, где расположено Касимовское ПХГ, – от 1 до 80 г/т (до 0,9% от общего гумуса); содержание ПАУ - 11-16 нг/г. В подлежащих закачке жидких отходах газового производства концентрации нефтепродуктов

от 50 до 1870 мг/дм³, в водах щигровского пласта-коллектора – до единиц мг/дм³.

5.2. Углеводородное газовое загрязнение природных вод.

Углеводородные газы являются главным компонентом нефтегазовых залежей и составляют значительный объем (около 622 тонн) выбросов при их эксплуатации, что неизбежно приведет к загрязнению водных и др. систем. Степень и возможности индикации углеводородного загрязнения во многом будут определяться устойчивостью, растворимостью, сорбцией и др. физико-химическими свойствами этих соединений, а также фоновыми концентрациями в природных средах.

Газообразные углеводороды в природных средах представлены метаном, его предельными и непредельными гомологами слабо реакционно-способными в природных условиях. Углеводороды имеют свободную, растворенную, адсорбированную и капиллярно-конденсированную формы. Их растворимость в воде - десятки см³/дм³.

В воздухе атмосферы, почвах, породах и природных водах углеводороды представлены метаном в содержании от десятитысячных (атмосфера, почва) до тысячных (снеговые осадки) и сотых (подземные и поверхностные воды, породы) об. %. Содержание тяжелых углеводородов в природных средах - десятитысячные об. % и менее.

Основным газом атмосферы, водных сред, почв и пород является азот (до 80 об. %), содержание кислорода - от 12 до 21 об. %. Содержание СО₂ повышено в почвах (до 99 об. %), подземных и поверхностных водах (до 1.6 об. %); водорода - сопоставимо с содержанием углеводородов.

Состав нефтегазовых залежей преимущественно метановый (64-88 об. %). Содержание азота и СО₂ - редко более единиц об. %, водорода - сотые об. %. В нефтяных газах повышено (до 17 об. %) содержание тяжелых углеводородов, в газах нефтепереработки - непредельных углеводородов (12-50 об. %) и водорода.

Наиболее значимыми источниками углеводородов являются природные и попутные газы, нефть, каменный уголь. Закономерности распространения углеводородных и других газов, органического вещества и сопутствующих им микрокомпонентов в земной коре исследователями показаны в виде *пластовой и вертикальной газо-геохимической зональности*. Ей соответствует (Л.М. Зорькин и др.) *вертикальная зональность* растворенных газов подземных вод.

На месторождениях Прикаспия (северо-западное обрамление) газонасыщенность вод палеозоя колеблется от десятков см³/дм³ на западе и северо-западе до 1000 см³/дм³ и > в прибортовых частях впадины. Состав растворенных газов изменяется от метанового и азотно-метанового до метаново-азотного и азотного. Количество углекислоты в газах 1-3%.

В водах терригенного девона на исследуемой территории развиты преимущественно метановые газы с повышенным количеством тяжелых углеводородов. В водах верхнедевонско-каменноугольной-нижнепермской толщи в Волгоградско-Саратовском Поволжье встречены в основном

метановые газы, а в Самарском Поволжье - обогащенные N_2 и кислыми компонентами.

На Астраханском ГКМ интервалы изменения концентраций газов в залежи составляют, %: CH_4 (43-67) > H_2S (10-34) > CO_2 (8-22). В направлении к газодляному контакту доля и парциальное давление CH_4 увеличиваются, его диффузия направлена из воды в залежь. В составе водо-растворенных газов каменноугольного комплекса на долю CH_4 приходится до 59%, существенна доля кислых компонентов, %: H_2S (24 – 48) > CO_2 (11 – 42) > N_2 (0.4 – 5).

Оренбургское НГКМ характеризуется сравнительно высоким содержанием кислых компонентов в газе: H_2S 1,3 - 5%, CO_2 0,7 - 2,6%. Отмечается различие между содержанием сероводорода и углекислого газа в центральном, восточном и западном участках месторождения, с глубиной их концентрации возрастают. По мере эксплуатации месторождения содержание H_2S в газе снижается.

Состав растворенных газов нижнепермско-каменноугольного комплекса на ОНГКМ преимущественно углеводородный: метана 60-90%, тяжелых углеводородов 2-3%, азота 5-10%. Содержания кислых компонентов в воде высокие: H_2S 0,8-2,4 см³/дм³, ее газонасыщенность - 1-2 см³/дм³. Растворенные газы вод кунгурских отложений резко отличаются от более глубоких горизонтов. Газонасыщенность здесь на порядок ниже - сотни см³/дм³. В составе растворенных газов преобладают углеводороды, концентрации азота сопоставимы с ними. Отмечается более высокое содержание тяжелых углеводородов.

На месторождениях севера западной Сибири состав газовых залежей сеномана преимущественно метановый. Содержания тяжелых углеводородов в них (в основном этан) не превышают десятых долей процента, других гомологов - сотых и тысячных долей процента. В составе газа присутствуют азот (1-2%), углекислый газ (десятые доли %), гелий и аргон (сотые доли %).

На Заполярном НГКМ содержание метана в газе 80-99 об. %, азота и углекислого газа (N_2 > CO_2) около 1 об. %. В сеноманской залежи сотые об. % составляют предельные углеводороды C_2 > C_3 > C_5 . В залежах неокома их концентрации выше (до единиц об. %), преобладают C_2 > C_5 > C_3 > i,nC_4 .

Состав водорастворенных газов продуктивных пластов на месторождениях севера Западной Сибири преимущественно метановый. Его содержание на Заполярном месторождении от 2400 до 2800 см³/дм³; состав, %: CH_4 -98,0; C_2H_6 – 0,8; N_2 – 1,0; CO_2 – 0,2.

Углеводородные газы (УВГ) в атмосфере здесь представлены предельными, непредельными, ароматическими соединениями и их производными. Концентрации УВГ в атмосфере, мкг/м³ - от единиц до тысяч, преобладают (сотни) предельные (C_3 > C_2 > nC_4) и непредельные (C_4 > C_2 > C_3) соединения. Концентрации (мкг/м³) метана, его гомологов (C_5 - C_9) и этилацетата - от десятков до единиц; бензола и его производных - единицы.

Основными газами атмосферы являются N_2 и O_2 , менее 1 об. % составляет Ar, сотые - CO_2 , десятитысячные - H_2 . На участке УКПГ фон NO_2 в атмосфере составлял 0.03 ПДК, в 1996 г. - 1.5 ПДК.

Влияние газовой залежи в формировании фонового состава атмосферы проявляется в повышенных концентрациях и сходных соотношениях предельных углеводородов $C_3 > C_2 > i, nC_4 > C_5$, азота и CO_2 .

Углеводородный состав выбросов на Заполярном месторождении отражает состав газовой залежи и в целом соответствует фоновому составу атмосферы, различаясь по концентрациям и соотношениям отдельных компонентов. Значимыми загрязнителями атмосферы здесь могут стать пропилен > м-ксилол > этан > 2-пропанол > метан, содержание которых в выбросах в 2-9 раз превышает фоновое, но не опасно относительно гигиенических нормативов.

С позиций загрязнения водных систем газообразные углеводороды, вследствие низкой растворимости и возможной деградации посредством биохимического окисления менее значимы. Результаты исследований будут использованы для контроля за техногенной миграцией углеводородов и сопутствующих загрязнителей по геохимически инертным сорбированным формам газа при проведении эколого-гидрогеологического мониторинга на объектах нефтегазовых комплексов.

5.3. Оценка и локализация нефтяного загрязнения подземных вод.

В разделе рассматриваются наиболее перспективные технологии прогнозирования ситуаций подтягивания загрязненных нефтепродуктами подземных вод к водозаборам, оценки масштабов их загрязнения и последствий разгрузки в водоемы, а также локализации нефтяного загрязнения, разработанные В.М. Гольдбергом, В.П. Зверевым и др.

6. Экспериментальные исследования природно-техногенных систем необходимы при обосновании защищенности питьевых вод в условиях техногенной нагрузки объектов нефтегазовых комплексов. Они включают термодинамическое моделирование и лабораторное в стационарных условиях и близких натурным.

Исследовались физико-химические процессы в системах «сток», «сток-порода зоны аэрации», «сток (фильтрат) - подземная вода четвертичных отложений», сформированные в условиях эксплуатации Астраханского ГХК.

Изучалось поведение компонентов стоков (бора, лития, марганца, свинца и др.), рекомендованных для изучения с позиций их распространения в природно-техногенных системах и опасности для экосистем исходя из соотношения концентраций с нормативами хозяйственного и питьевого водопользования.

Отдельно моделировался состав подземных вод газоносных горизонтов Астраханского и Уренгойского месторождений, Касимовского ПХГ в термобарических условиях близких пластовым.

На примере системы «промсток - пластовая вода - порода - газ (метан)» ППЗ Касимовского газового комплекса в *лабораторных условиях* определялись: совместимость промстоков с пластовой водой и прогнозировались ареалы их распространения.

6.1. Термодинамическое моделирование физико-химических процессов в гомогенных и гетерогенных системах.

Термодинамическое моделирование выполнялось по программе «GIBBS», в которой реализован алгоритм поиска минимума свободной энергии

Гиббса системы, на основе методик Ю.В. Шварова, С.Р. Крайнова и др. с растворами, отражающими разнообразие щелочно-кислотных условий и компонентного состава стоков и пластовых вод. В составе стоков учитывались органические соединения в виде фульво - гуминовых кислот.

6.1.1 Моделирование физико-химических процессов, контролирующих миграцию компонентов - загрязнителей в системах «сток», «сток-порода». Рассматривались процессы, предварительно установленные на основании теоретических исследований природно-техногенных систем Астраханского ГКМ. *Осаждение фосфора* в системе «сток-кальцит» прослеживалось методом степени протекания реакции и по состоянию насыщения стока различными формами соединений фосфора с кальцием. *Сорбция свинца* оценивалась исходя из доли сорбируемых положительно заряженных комплексных форм Pb^{2+} . *Выщелачивание* изоморфных бора и лития, переходящих в сток с кальцитом и гипсом из пород, оценивалось путем расчета, исходя из растворимости и содержания элементов в минералах. В результате термодинамического моделирования для Астраханского ГКМ установлены и количественно оценены процессы, определяющие в системах «сток», «сток-порода» миграцию фосфора, свинца, бора и лития.

6.1.2 Моделирование состава подземных вод газоносных горизонтов в термобарических условиях близких пластовым. Изучалось отложение кальцита в порах коллектора, перераспределение комплексных и ионных форм при изменении условий нахождения пробы, влияние углеводородных газов на состав равновесной с ними пластовой воды. В составе газовой фазы помимо CO_2 учитывались H_2S и CH_4 .

Влияние углеводородов на состав пластовой воды при сезонном нагнетании газа и его отборе рассматривалось на примере щигровского пласта-коллектора Касимовского ПХГ.

6.2. Лабораторное моделирование природно-техногенных систем в условиях стационара и близких к натурным.

6.2.1 Лабораторное моделирование в стационарных условиях. В статическом режиме в системе «сток – порода зоны аэрации» изучались и количественно оценивались процессы вывода микрокомпонентов из стоков без их конкретизации по соотношению концентраций компонентов в стоках и фильтрах, обоснованных статистически, а также процессы выщелачивания, сорбции и кинетика сорбции. Эти процессы изучались в единых экспериментальных системах, составленных из стоков и пород в разных соотношениях, одновременно.

Опыты проводились на образцах песков и супесей зоны аэрации, охарактеризованных по гранулометрическому, минералогическому, фазовому химическому составу, физико-механическим и водным свойствам.

Опытами в динамическом режиме в системе «сток-порода зоны аэрации» конкретизировался процесс, определяющий миграцию фосфора; уточнялась макроминеральная форма, с которой связано выщелачивание стоком B, Li, Mn. Для ряда компонентов с помощью системы программ “MASSTRAN” (А.В. Лехов и др.) определялись параметры сорбции и геомиграционные.

Опыты проводились на установке, включавшей фильтрационную колонку длиной 13-25 см диаметром 5 см и емкость для раствора, позволявшую поддерживать постоянный напор.

Вывод фосфора из стоков моделировался в двух системах: эталонной и техногенной. В первой сток заменялся раствором NaCl с рН и концентрацией фосфора, обеспечивающими образование апатита. Порода была представлена нежелезненным аллювиальным песком с пленочным засолением кальцитом. Техногенная система состояла из стока с добавкой фосфора и ожезненного песка четвертичных отложений территории АГКМ. В том и другом случаях рассматривались отдельно осаждение апатита и сорбция фосфора. Сорбция фосфора в эталонных опытах изучалась на фракции песка 0.05-0.25 мм, отмытой от карбонатов; в техногенной системе - на песке, отмытом от апатита. Идентификация процесса в техногенной системе с процессом в эталонной системе проводилась путем сопоставления значений пористости и характера миграционных кривых.

Результатами лабораторных опытов в стационарных условиях для системы «сток-порода» в статическом режиме явились: неучастие в процессах вывода из стоков (осаждения, сорбции) Pb и Hg; установление процессов вывода из стоков P, Zn, Cu без их конкретизации; выщелачивания стоками из пород B, Li, Mn; количественная оценка емкостных свойств пород, кинетики сорбции Zn и Cu, выщелачивания микрокомпонентов.

Результатами опытов для системы «сток-порода» в динамическом режиме оказались: конкретизация процесса, определяющего миграцию фосфора - осаждение апатита; слабое проявление сорбции фосфора; подтверждение выщелачивания из пород B, Li, Mn; установление для Mn макроминеральной формы - карбонатов Ca и Mg, с которыми связано его поступление в сток.

6.2.2 Лабораторное моделирование в условиях, близких к натурным проводилось для установления окисления элементов переменной валентности в обстановке Eh, приближенных к условиям стоков, подземных вод и пород, что достигалось минимальным временем между подготовкой экспериментальных проб и проведением опытов; а также процессов в системе «сток - подземная вода». Для более четкой диагностики процессов в стоки добавлялись некоторые количества микрокомпонентов. Взаимодействие стоков (их фильтратов) и подземных вод изучалось в статическом режиме, взаимодействие стоков и пород - в динамическом.

Лабораторно-полевые исследования системы «сток – порода» позволили: установить и количественно оценить процессы окисления и осаждения элементов переменной валентности (Mn); подтвердить выводы о процессах (осаждения, сорбции P и Zn; выщелачивания B), полученные опытами в стационарных условиях; для смесей стоков с подземными водами - оценить возможности осаждения микрокомпонентов.

6.2.3 Количественная оценка техногенных процессов, обусловленных эксплуатацией Астраханского газового комплекса, по экспериментальным данным.

Результаты экспериментальных исследований систем Астраханского ГКМ позволили дать количественную оценку техногенных процессов (табл. 1) и рекомендации:

- природоохранного характера по утилизации дренажных вод, состав которых моделировался по фильтратам стоков;
- методического характера по изучению многокомпонентных систем.

Количественный анализ загрязнения подземных вод в зоне влияния объектов Астраханского газо-химического комплекса показал, что:

наиболее существенными по количественному проявлению являются процессы, протекающие в зоне аэрации при инфильтрации через нее стоков: окисления и осаждения марганца, осаждения фосфора, выщелачивания бора и лития, сорбции цинка, меди и др.;

в подземных водах основным процессом, исходя из того, что концентрации микрокомпонентов в стоках относительно подземных вод понижены, является разбавление;

в стоках данные процессы слабо выражены.

В результате исследований выявлены следующие особенности протекания указанных процессов. Для *осаждения фосфора* в условиях природно-техногенной системы территории АГКМ установлены: устойчивая форма фосфатов кальция - гидроксилapatит; роль кальцита породы как источника кальция для образования апатита; роль органических кислот стока, усиливающих осаждение апатита путем изменения распределения форм фосфора и кальция в стоках и поступления кальция из кальцита породы.

Таблица 1 - Количественная оценка гидрогеохимических техногенных процессов на территории Астраханского ГХК по экспериментальным и натурным данным

элемент	концентрация, мг/ дм ³					
	В стоке, $\bar{C}_{1986-1993}$ мг/дм ³	в зоне аэрации		в стоках на уровне подземных вод	в подземных водах	
		за счет процессов	выводится, поступает		при смешении со стоками	фоно- вая
B	0.49 0.02-6.00*	выщелачивания: CaCO ₃ (до 0.05 вес.% B ₂ O ₃) CaSO ₄ (до 0.5 вес.% B ₂ O ₃)	0.01 (2.1 вес.%) 2.5 (10-50 вес.%)	0.50-2.97	2.4***/3.6;2.7	1.6
Li	0.028 0.0-0.416*	выщелачивания: CaCO ₃ (0.001 вес.% Li ₂ O) CaSO ₄ (0.0006 вес.% Li ₂ O)	34*10 ⁻¹³ 6.6*10 ⁻¹¹	0.028	0.16/0.23;0.12	0.27
P	0.47 0.0-3.0*	осаждения: Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ (OH) ₂	42-85.6** мол.% 0.20-0.40 мг/дм ³	0.27- 0.07	1,39/0,18;0,09	0,24
Mn	0.34 0.0-3.73*	окисления и осаждения	50-99 вес.% 0.17-0.34 мг/дм ³	0.17- 0.003	2,82/1,46;1,35	2,86
Zn	0.14 0.0-2.24*	хемосорбции	80-98 вес.% 0.11-0.14 мг/дм ³	0.03 -0.003	12,1/0,59;0,40	10,0
Pb	0.033 0.0-0.16*	сорбции	83-20** мол.%	0.006 -0.026	0,49/0,06;0,05	0,64

Примечания: * - минимальное-максимальное значения, ** - в присутствии фульвокислот; *** - по данным натурных наблюдений: в числителе - 1988 г., в знаменателе – 1991, 1993 г.

Процесс выщелачивания для бора и лития значим в любых условиях опыта и связан с рядом минеральных форм, в том числе кальцитом, гипсом. Выщелачивание марганца связано с карбонатами Ca, Mg, проявилось в лабораторных опытах в условиях низких Eh, не обеспечивающих его окисления. Количественно выщелачивание из песчаных разностей характеризуется значениями, г/т (ТВ:Ж=1:10): В - 29-196, Mn - 4.4, Li - до 0.1, что включает водорастворимую и частично труднорастворимую формы элементов.

Сорбция фосфора песчаными разностями по нашим данным по сравнению с результатами М.Н. Гольдина ($K_d > 89$), R.G. Gerritse слабо выражена. Параметры сорбции фосфора, полученные нами на нежелезненном песке ($K_d = 0.04-0.14$), согласуются с результатами В.В. Рачинского ($K_d = 0.0$). На ожелезненном песке сорбция фосфора более выражена ($K_d = 1.05$), вследствие того, что связана с гидроокислами железа; выявлена кинетика процесса.

Для сорбции металлов песчаными разностями получен новый по сравнению с П. Пенчевым, Ф.И. Тютюновой ряд селективности $Cu > Zn > Pb, Hg$, в котором избирательность поглощения металлов определяется их геохимическими свойствами.

Геомиграционные параметры, полученные в ходе экспериментов, впервые характеризуют физико-химические процессы в изученных системах.

6.2.4 Гидродинамическое моделирование совместности в системе «промсток - подземная вода - порода – газ» в термобарических условиях, близких пластовым проводилось (А.Ф. Соколов) на примере щигровского горизонта ППЗ Касимовского ПХГ на установке и по методике, которая на моделях длиной до 5 метров позволяет вытеснять равновесную с породой пластовую воду промстоками. В керне до и после опытов определялись ионно-солевой состав, сорбционные и фильтрационно-емкостные свойства (коэффициенты проницаемости по воде, газу, степень коагуляции, набухаемость и пр.). На основании полученных коэффициентов вытеснения расчетными методами прогнозировался ареал распространения промстоков.

7. Защищенность и улучшение качества питьевых вод в условиях техногенной нагрузки объектов нефтегазовых комплексов

7.1. Обоснование гидрогеохимической защищенности подземных и поверхностных вод на основании экспериментальных исследований и натурных наблюдений. Имеет существенное значение для прогноза распространения загрязнения в подземных водах территорий, где геофильтрационная защищенность практически отсутствует, например на Астраханском ГКМ, где зона аэрации сложена песчаными разностями.

Гидрогеохимическая защищенность подземных вод обеспечивается процессами, приводящими к снижению концентраций загрязнителей или преобразующими их формы в менее токсичные.

На территории Астраханского ГХК процессы защищенности развиты преимущественно в зоне аэрации и водонасыщенной части водоносного комплекса. В зоне аэрации они представлены окислением и осаждением, сорбцией, осаждением, выводящими от 40 до 90 % тяжелых металлов и

фосфора из техногенных растворов. Окисление и осаждение марганца обеспечено высоким положительным редокс-потенциалом. Сорбционные процессы $Cu > Zn > P > Pb$ обусловлены емкостными свойствами пылеватых ожелезненных песков (г/т, ТВ:Ж=1:10): $Zn (10,0) > P (7,7) > Cu (1,0)$. Слабая сорбция Pb обусловлена комплексообразованием с органическими кислотами. Осаждение апатита, прослеживаемое в стоках, при участии кальциевых минералов пород и в присутствии органических соединений стоков интенсифицируется.

В подземных водах процессы защищенности представлены *смешением*, приводящим по данным режимных наблюдений к снижению концентраций микрокомпонентов в смесях в 2-10 и более раз. Процессы смешения развиты на участках утечек; на них влияют объемы утечек и состав стоков.

7.2. Индикаторы загрязнения. К индикаторам загрязнения на Астраханском ГКМ отнесен бор, который не участвует в процессах вывода из загрязненных растворов и при инфильтрации их через зону аэрации; обладает устойчивыми миграционными формами во всех изученных природно-техногенных системах; токсичен, нормируется с позиций водопользования. Значимость бора как загрязнителя повышена вследствие установленного экспериментально выщелачивания его значительных количеств стоками из пород зоны аэрации. Концентрации бора в смесях подземных вод со стоками относительно фоновых в воде согласно режимных наблюдений повышены.

7.3. Оценка загрязнения, рисков и ущерба речным системам по данным математического моделирования и режимных наблюдений. Рассматриваются технологии моделирования пространственно-временного развития загрязнения в подземных и поверхностных водах с позиций оценки экологического риска, ущерба и организации управления техногенными процессами. С учетом физико-химических трансформаций загрязнителей оцениваются "рисковые" значения расходов рек, при которых подземный сток в пределах изучаемой территории окажет влияние на качество речных вод; оценивается время распространения загрязнения от источников до рек; сравниваются концентрации загрязнителей в речных водах, полученные путем моделирования и по натурным данным.

7.4. Защищенность подземных источников водоснабжения в условиях техногенной нагрузки ПХГ. На Касимовском ПХГ обоснование защищенности подземных водозаборов проводилось (В.М. Кирьяшкин и др.) с фильтрационных позиций. Защитной зоной является зона аэрации, имеющая двухслойное строение – терригенные отложения четвертичного возраста (5-10 м) и безводная часть водоносного горизонта мощностью 28-40 м. Время прохождения зоны аэрации загрязнителями от нескольких (Cl) до десятков (Sr, Mn, Cd, Fe) и сотен (Al) лет. Его расчет для верхнего слоя зоны аэрации проводился по коэффициентам фильтрации, для нижнего (известняки) - по схеме поршневого вытеснения.

В условиях отсутствия надежно изолирующей толщи в подошве подольско-мячковского горизонта фактором, определяющим

проникновение некондиционных вод из подстилающего каширского горизонта является соотношением приведенных напоров $P_{np}^{pd-m\bar{e}} < P_{np}^{ks}$.

Анализ гидрогеоэкологических ситуаций, имеющих место на Касимовском, Увязовском и др. ПХГ показал, что наибольшую защищенность питьевые воды будут иметь на участках, где соблюдаются следующие условия:

водозаборы находятся выше по потоку подземных вод относительно объектов ПХГ; $H^{pd-m\bar{e}} > H^{ks}$;

водоносный горизонт имеет наибольшие толщины зоны аэрации;

воронка депрессии будет наименьшей по диаметру и глубине и не включает в зону своего гидродинамического влияния скважины, вскрывающие нижележащий горизонт, а глубина воронки не превышает разности напоров подольско-мячковского и каширского горизонтов.

Представленный методический подход к проблеме обеспечения качества питьевых вод может быть использован на большей части ПХГ центральных районов России ввиду однотипности геологических и гидрогеологических условий питьевых горизонтов.

Заключение

Основным результатом выполненной работы является решение актуальной научной и важной народохозяйственной проблемы обеспечения системы наблюдений за состоянием гидросферы, оценки и прогноза ее изменений, обоснования защищенности в условиях эксплуатации нефтегазовых комплексов, которое базируется на современных технологиях.

Основные научные и практические результаты работы состоят в следующем.

1. Проведен анализ обособленных до настоящего времени систем гидрогеологического и экологического контроля за разработкой залежей, транспортом и хранением природного газа, захоронением промстоков, объектами водоснабжения.

Разработана и внедрена на месторождениях Прикаспия и севера Западной Сибири концепция и структура системы комплексного эколого-гидрогеологического мониторинга на нефтегазовых объектах.

2. Исследовано фоновое состояние и формирование химического состава природных систем месторождения Заполярное. Территория является природной комплексной по целому ряду компонентов биогеохимической провинцией с повышенными относительно фоновых для сходных ландшафтно-климатических условий концентрациями биогенных, органических веществ и микроэлементов в: воздухе (Fe, Mn, Al, Zn, Cr, Ti, V, As) и осадках атмосферы (Mn, Zn, Cu, Pb); поверхностных (Ni, Cu, Mn, Fe, Cr, Zn, Ba, Sr) и подземных водах (Ba, Sr, B); породах (Zr, Ba, Mn, Sr, Cr, B, V, Zn, Ni, La) и почвах (Ti, Fe, Hg, V, Cr, Sr, Ni, B, Zn, Cu, Cd), что расширяет представления о Fe-Mn биогеохимической провинции.

По геохимическим свойствам основные элементы природных экосистем преимущественно средней (Si, Mn, Ba, Rb, Ni, Cu, Li) и слабой (Al, Fe, Ti, Zr) подвижности в воде (K_B 0.п-п и 0.0п соответственно), которая, особенно для тяжелых металлов и кремния, в слабокислых восстановительных с повышенными концентрациями органических веществ условиях природных вод существенно изменяется и приводит к их накоплению. В целом состав природных вод указывает на формирование в обедненных карбонатами кальция, магния песчано-глинистых аллювиальных отложениях, при существенной роли морских отложений, криогенной метаморфизации, глеегенеза и нефтегазоносности территории.

3. Установлено, что микрокомпоненты по концентрациям в природных водах образуют группы, мг/дм³: Fe, Si - десятки в подземных водах, единицы - в поверхностных, десятки - в осадках; Mn - единицы в подземных, десятки - в поверхностных водах и осадках; Al, I, Br, Zn, Sr, Ba, Ni - десятки в подземных и поверхностных водах, сотые-тысячные - в осадках; Cr - сотые в подземных и поверхностных водах, тысячные - в осадках; Hg - менее тысячных в воде.

Характер распределения содержания в установленных для вод группах по большинству элементов сохраняется (г/т) в *почве и породах* по *легкоподвижным* (Al, Si, Fe, Br, Sr - десятки, Mn - единицы, Li - десятки) и *слабоподвижным формам* (Al - тысячи, Si, Ni, Mn, Fe - сотни, Cr - десятки-единицы), *валовому* содержанию (Si, Al, Fe - десятки тысяч; Ti - тысячи; Zr, Sr, Ba, Mn - сотни; Cr, V, Zn - сотни в почвах, десятки в породах; Rb, La, Li, Ga, Cu, Ni - десятки; Br, Co, As, U - единицы; Hg - десятки); а также в *растительности* (Al - сотни; Fe, Si, Ni, Cr - десятки) и (нг/м³) *воздухе атмосферы* (Al - тысячи; Si, Fe, Ni, Zn, Cr - сотни; Ti, Cu, Pb, Sn, Mn, V, Ba - десятки; B, Ag, Cd - единицы).

Распределение биогенных и органических соединений в природных водах и породах следующее: аммония, фосфора, $C_{орг}$ - единицы мг/дм³ в воде, десятки - сотни г/т в породах; нафтен - единицы мг/дм³ в подземных водах, десятки - в поверхностных; фенолов - тысячные в воде.

4. С позиций рационального водопользования на Заполярном НГКМ установлено несоответствие оптимальному уровню в природных водах фоновых значений минерализации, pH, концентраций Ca, Mg и фтора; превышение - по концентрациям нафтен и фенолов. Сверхнормативные концентрации аммония, фосфора и большинства микрокомпонентов в природных водах, почве и растительности могут вызвать эндемические заболевания у коренного населения и работников газопромыслов, что указывает на необходимость установления региональных норм качества.

5. Выполнен комплексный анализ компонентного состава жидких, твердых отходов газового производства и бытовых на Заполярном и др. месторождениях севера Западной Сибири. Установлены: - существенная изменчивость состава отходов газового производства и бытовых - поликомпонентных систем, включающих помимо макрокомпонентов и биогенных соединений значительное число органических веществ и микроэлементов; - значительная

опасность исходя из концентраций микроэлементов и органических соединений отходов производства и бытовых для водных экосистем и биогеоценозов с фоновыми концентрациями ряда компонентов изначально превышающими нормативы водопользования; - слабое влияние на макросостав природных приповерхностных вод маломинерализованных хозяйственно-бытовых стоков и возможность улучшения их качества под действием производственных стоков.

С позиций минимизации экологического ущерба утилизацию жидких отходов газового производства и бытовых рекомендовано проводить путем закачки в пласт-коллектор. Захоронение бытовых стоков более безопасно, поскольку их очистка технологическими приемами, используемыми на КОС в условиях Средней полосы, в районах суб-Арктики не достаточно эффективна.

6. Установлены общность и постоянство макрокомпонентного состава вод сеноманского комплекса на месторождениях севера Западной Сибири, менее выраженные для вод неокотских отложений; а также микрокомпонентный состав пластовых и конденсационных вод для отдельных месторождений и исследуемого региона.

7. Исследовано нефтепродуктовое загрязнение гидросферы в нефтегазовых районах и на прилегающих территориях. Нефтепродукты являются довольно распространенным загрязнителем природных сред на территориях газопромыслов (Западной Сибири, Прикаспия и др.), России в целом и прилегающих морских акваторий. Технологии газового производства приводят к формированию от десятков - сотен до тысяч мг/дм³ концентраций нефтепродуктов в жидких и твердых отходах. В результате утечек и высокой миграционной способности жидких углеводородов в природных водах территорий формируются повышенные (до десятых и единиц мг/дм³) относительно фоновых, преимущественно следовых, и часто ПДК питьевого (1-10 ПДК и >) и рыбохозяйственного ГОСТа (3-5 до > 20 ПДК) концентрации нефтепродуктов, многие из которых токсичны, особенно канцерогенные ароматические соединения. В почвах наблюдаются превышения ПДК (в 1-8 раз) по содержанию ПАУ.

Показано, что решение природоохранных задач связано с исследованием самоочищающей способности водоемов. Для минимизации экологического ущерба рекомендованы технологии локализации нефтяного загрязнения подземных вод.

8. Проведен анализ сведений о фоновом распространении и техногенной эмиссии углеводородных газов в атмосфере и гидросфере. Установлено, что углеводороды составляют основной объем выбросов при эксплуатации нефтегазовых комплексов. В геохимическом отношении они представлены метаном и его предельными и непредельными гомологами, слабо реакционно-способными в природных условиях. Водорастворенные газы продуктивных пластов на месторождениях севера Западной Сибири и Прикаспия преимущественно метановые. Углеводородный состав выбросов на Заполярном месторождении соответствует фоновому составу атмосферы, различаясь по

концентрациям и соотношениям отдельных компонентов. Ее значимыми загрязнителями могут стать пропилен > м-ксилол > этан > 2-пропанол > метан, концентрации которых в выбросах в 2-9 раз превышают фоновые, но не опасны относительно гигиенических нормативов. С позиций загрязнения водных экосистем углеводороды, вследствие их низкой растворимости, возможной деградации посредством биохимического окисления менее значимы.

9. Для изучения многокомпонентных систем «сток-порода», «сток - пластовая вода» и др. рекомендованы:

комплексный подход к исследованиям, позволяющий конкретизировать процессы, неоднозначно определяемые с позиций одного из методов исследований и количественно их оценивать;

для диагностики процессов - эталонные системы, а для аналитических определений - метод плазменной спектроскопии с комбинированной системой определения;

способ оценки концентраций загрязнителей, поступающих в подземную воду, на основе данных о степени протекания процессов в зоне аэрации и пр.;

для ряда компонентов и систем - геомиграционные параметры, что позволит существенно расширить рамки моделирования геомиграции.

10. Установлено, что на Астраханском ГКМ, где зона аэрации сложена песчаными разностями, защищающими подземные и поверхностные воды от загрязнения являются процессы, протекающие в зоне аэрации (осаждения, сорбционные, окисления и осаждения) и подземных водах техногенной области (смещение), приводящие в комплексе к снижению концентраций загрязнителей в подземной воде на 40-90 %. Оценены емкостные свойства пород по отношению к основным загрязнителям.

11. Рекомендован рациональный метод количественной оценки процессов солеотложения, сорбции и выщелачивания в сравнении с лабораторными исследованиями, особенно в термобарических условиях, близких пластовым - термодинамическое моделирование. Отложение кальцита из пластовых вод в порах пласта-коллектора на уровне ГВК в разном количестве прогнозируется для всех объектов, в большей степени - для Астраханского ГКМ, где фиксируется на всех этапах разработки месторождения (в пласте, скважинах и пр.). Углеводороды на процесс солеотложения практически не влияют.

Установлено перераспределение комплексных форм и концентраций компонентов в пластовых водах при переходе к поверхностным условиям. Формы нахождения компонентов в условиях высокой температуры и давления пласта - преимущественно простые кислоты и соли, на поверхности - ионные. В поверхностных условиях снижаются (в 2 - 4 раза на Астраханском ГКМ) концентрации гидрокарбоната, кальция и сульфат - ионов. Минерализация воды при этом уменьшается на 10 и более г/дм³. Влияние углеводородов на состав пластовой воды проявляется в образовании свободной углекислоты, повышении концентраций бикарбонатных ионов и комплексов.

12. С позиций рационального водопользования на Астраханском ГКМ установлено снижение ущерба, вызываемого повышением концентраций

микрокомпонентов в реках, вследствие уменьшения поверхностного смыва с сельскохозяйственных угодий в период работы ГХК. Влияние загрязненных подземных вод на концентрации рассматриваемых компонентов в реках в периоды паводка и в среднемноголетнем масштабе отсутствует.

Повышение концентраций загрязнителей в речных водах до ПДК по данным натурных режимных наблюдений и прогнозного моделирования с учетом физико-химических трансформаций загрязнителей и полученных экспериментально геомиграционных параметров даже в случае аварийных сбросов промстоков нереально. Ущерб от функционирования ГХК может проявиться через сотни лет, которые требуются, чтобы загрязненные подземные воды достигли речных долин.

С позиций минимизации экологического ущерба утилизацию разбавленных слабоминерализованных стоков и дренажных вод на пустынных территориях Астраханского ГКМ и др. рекомендовано проводить посредством орошения.

Основные работы, опубликованные по теме диссертации:

Методические руководства и научные обзоры:

1. Методическое руководство по созданию экологического мониторинга за гидрогеологическими условиями в районах месторождений газовой промышленности / К.Е. Питьева, Н.В. Газенко, Л.М. Фокина и др. - М.: ИРЦ Газпром, 1993. - 143 с.

2. Питьева К.Е., Газенко Н.В., Фокина Л.М. Оценка геохимических процессов распространения компонентов-загрязнителей в водных средах территории Астраханского газоконденсатного месторождения и геохимической защищенности подземных вод от загрязнения. Методическое руководство. - М.: ИРЦ Газпром, 1995. - 107 с.

3. Питьева К.Е., Разумовский Л.М., Фокина Л.М. Комплексное исследование микрофлоры и химических компонентов речной системы на территории Астраханского газоконденсатного месторождения в целях совершенствования эколого-гидрогеологических работ. - М.: ИРЦ Газпром, 1996. - 70 с.

4. Питьева К.Е., Фокина Л.М., Голованова О.В. Эколого-гидрогеологические аспекты исследования территории Астраханского газоконденсатного месторождения. - М.: ИРЦ Газпром, 1999. - 77 с.

5. Фокина Л.М. Эколого-гидрогеологический мониторинг месторождения Заполярное: концепция и оценка фоновое состояние. - М.: ИРЦ Газпром, 2004. - 100 с.

Научные статьи в журналах, рекомендованных ВАК России:

6. Фокина Л.М. Концепция эколого-гидрогеологического мониторинга на объектах газовой отрасли // Газовая промышленность. - 2004, - № 2. - С. 52-54.

7. Фокина Л.М. Эколого-гидрогеологический мониторинг территории месторождения Заполярное // Газовая промышленность. - 2004, - № 5. - С. 74-77.

8. Фокина Л.М. Экологическая оценка компонентов жидких отходов газопромыслов Тюменского Севера // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2004. - №6. - С. 6-11.

9. Фокина Л.М. Оценка нефтепродуктового загрязнения гидросферы в нефтегазовых районах и на прилегающих территориях. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2004. - № 6. - С. 12-15.

10. Фокина Л.М. Углеводородное загрязнение гидrolитосферы на нефтегазоносных территориях // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2004. - №7. - С. 19-23.

11. Сокращение эмиссии оксидов азота в атмосферу при обустройстве и эксплуатации Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения/ А.К. Арабский, Р.М. Минигулов, С.И. Райкевич, Л.М.Фокина и др.// Наука и техника в газовой промышленности. – 2005. - № 1. - С. 79-81.

12. Технологии сокращения эмиссии оксидов азота в атмосферу при обустройстве и эксплуатации Заполярного НГКМ / А.К. Арабский, Р.М. Минигулов, С.И. Райкевич, Л.М.Фокина и др.// Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2005. - № 1. - С. 9-11.

13. Фокина Л.М., Райкевич С.И. Техногенная миграция углеводородов в гидrolитосфере на нефтегазоносных территориях // Газовая промышленность. – 2005. - № 3. - С. 24-27.

14. Минигулов Р.М., Райкевич С.И., Фокина Л.М. Внедрение новых технологий сокращения выбросов оксидов азота в атмосферу на Заполярном месторождении // Газовая промышленность. – 2005. - №5. - С.74 –76.

15. Фокина Л.М. Источники и распространение углеводородных газов в гидросфере // Геология нефти и газа. – 2005. - № 6. - С. 25- 32.

16. Фокина Л.М. Современные технологии комплексного эколого-гидрогеологического мониторинга природных и техногенных сред при разработке газовых месторождений // Нефтяное хозяйство. - 2007. - № 1. - С. 100 - 104.

Прочие статьи.

17. Фокина Л.М. Экспериментальное изучение процессов физико-химического взаимодействия условно-чистых стоков газоконденсатперерабатывающих производств с породами зоны аэрации // Теоретические основы и методика гидрогеологического прогноза загрязнения подземных вод. - М.: Наука, 1990. - С. 81-85.

18. Коровин А.И., Перминов Е.Б., Фокина Л.М. Контроль поверхностных вод на содержание химических элементов // Теоретические основы и методика гидрогеологического прогноза загрязнения подземных вод. - М.: Наука, 1990. - С. 97-99.

19. Фокина Л.М. Применение математического моделирования для исследования миграции фосфора в песках зоны аэрации // Применение ЭВМ при гидрогеохимическом моделировании. - Л., 1991, - С. 30-32.

20. Фокина Л.М. Физико-химические условия миграции компонентов промстоков в подземных водах АГКМ // Новые достижения в науках о земле. - М.: МГРИ, 1992. С. 53.

21. Фокина Л.М. Физико-химические условия миграции микрокомпонентов в системе техногенная вода - песчаная порода - подземная вода // Экологическая гидрогеология стран Балтийского моря: Международный научн. семинар. - С.-Пб., 1993. - С. 130-131.
22. Фокина Л.М. Формирование и динамика распространения микрокомпонентов в природно-техногенных условиях // Экологические проблемы газовых месторождений России: Материалы Межрегиональной науч.-практ. конф. - Астрахань, 1993. - С. 28.
23. Питьева К.Е., Фокина Л.М., Газенко Н.В. Принципы гидрогеохимической защищенности // Тез. докл. Ломоносовских чтений. - М.: МГУ, 1995. - С. 40.
24. Фокина Л.М. Приемы изучения процессов загрязнения водных сред, почв, пород в нефтегазовых районах // Эколого-гидрогеологические и гидрологические исследования природно-техногенных систем в районах газовых и газоконденсатных месторождений: Материалы школы-семинара. - М.: ИРЦ Газпром, 1998. С. 148-152.
25. Ильченко В.П., Фокина Л.М. Методические основы организации гидрогеоэкологического мониторинга и оценка фонового состояния природных вод территории Заполярного НГКМ // Проблемы оценки риска загрязнения поверхностных и подземных вод в структуре ТЭК: Сб. научн. тр. - М.: ВНИИГАЗ, 2001. - С. 69-82.
26. Фокина Л.М. Методика эколого-гидрогеологических исследований на объектах добычи, транспорта и хранения природного газа. // ЭКВАТЭК-2002. Вода: Экология и технология: Материалы 5-го международного конгресса. - М., 2002. - С. 576-577.
27. Ильченко В.П., Фокина Л.М. Концепция и структура системы эколого-гидрогеологического мониторинга на объектах газовой отрасли // Экология и промышленная безопасность: Сб. научн. тр. посвящ. 55-летию ВНИИГАЗа. - М.: ВНИИГАЗ, 2003. - С. 331-338.
28. Фокина Л.М. Оценка фонового состояния природных экосистем территории месторождения Заполярное // Экология и промышленная безопасность: Сб. научн. тр. посвящ. 55-летию ВНИИГАЗа. - М.: ВНИИГАЗ, 2003. - С. 246-259.
29. Фокина Л.М. Нефтепродуктовое загрязнение природных вод на территории предприятий газовой отрасли. // ЭКВАТЭК-2004. Вода: Экология и технология: Материалы 6-го международного конгресса. - М., 2004. - С. 78-79.
30. Фокина Л.М. Оценка нефтепродуктового загрязнения водных и почвенных экосистем на территориях предприятий газовой отрасли // Проблемы экологии в газовой отрасли. - 2004. - № 2. - С. 3-13.
31. Фокина Л.М. Технологии экспериментальных исследований природно-техногенных систем, формируемых в условиях эксплуатации объектов нефтегазового комплекса // Фундаментальные проблемы разработки нефтегазовых месторождений, добычи и транспортировки углеводородного сырья: Материалы Междунар. конф. - М.: ИПНГ РАН, 2004. - С. 295-297.

32. Технологии, регулирующие эмиссию оксидов азота в атмосферу при эксплуатации Заполярного НГКМ / А.К. Арабский, Р.М. Минигулов, С.И. Райкевич, Л.М. Фокина и др. // Геология, бурение, разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений. – 2005. - № 2. - С. 60 – 64.

33. Фокина Л.М., Левшенко Т.В. Термодинамическое моделирование гидрогеохимических процессов и солеотложения в процессе эксплуатации Астраханского, Уренгойского и Касимовского газовых комплексов // Фундаментальные проблемы нефтегазовой гидрогеологии: Материалы Междунар. конф. посвящ. 80-летию А.А. Карцева. - М.: ИПНГ РАН, 2005. - С. 358 – 362.

34. Фокина Л.М. Термодинамическое моделирование физико-химических процессов в природно-техногенных системах Астраханского, Уренгойского и Касимовского газовых комплексов // Проблемы геологии природного газа России и сопредельных стран: Сб. научн. тр. - М.: ВНИИГАЗ, 2005. - С. 298-319.

35. Фокина Л.М., Райкевич С.И. Сокращение выбросов оксидов азота в атмосферу на Заполярном месторождении // Проблемы геологии природного газа России и сопредельных стран: Сб. научн. тр. - М.: ВНИИГАЗ, 2005. - С. 298-319.

36. Фокина Л.М. Оценка качества подземных вод водозабора Пионерный газопромысла Заполярное // ЭКВАТЭК-2006. Вода: Экология и технология: Материалы 7-го международного конгресса. – М., 2006. - С. 218-220.

37. Фокина Л.М. Эколого-гидрогеологический мониторинг типового месторождения суб-Арктики – Заполярное // Нефть, газ Арктики: Материалы междунар. науч.-техн. конф. – М.: РГУ НГ им. И.М. Губкина, 2006. - С. 234 - 235.

38. Фокина Л.М. Термодинамическое моделирование солеотложения, сорбции и других техногенных процессов в условиях эксплуатации Астраханского, Уренгойского и Касимовского газовых комплексов // Геология, бурение, разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений. - 2006. - № 2. - С. 3 - 18.

39. Фокина Л.М. Термодинамическое моделирование состава вод газоносных горизонтов и солеотложения при разработке и эксплуатации месторождений и ПХГ // Проблемы бассейнового и геолого-гидродинамического моделирования: Материалы науч.-практ. Южнороссийской конференции. – Волгоград: Лукойл-ВолгоградНИПИморнефть, 2006. - С. 138 - 140.

40. Фокина Л.М., Райкевич С.И. Новые технологии сокращения эмиссии оксидов азота в атмосферу при разработке и эксплуатации месторождений газа // Сотрудничество для решения проблемы отходов: Материалы 4-й Международной конференции. - Харьков, 2007. - С. 147 – 149.