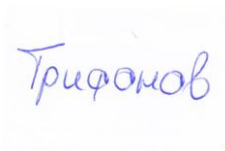


На правах рукописи

A handwritten signature in blue ink, reading 'Трифонов' (Trifonov).

Трифонов Николай Сергеевич

**ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЮРУБЧЕНО-ТОХОМСКОЙ
ЗОНЫ НЕФТЕГАЗОАКОПЛЕНИЯ В СВЯЗИ С ВОПРОСАМИ УТИЛИЗАЦИИ
ПОДТОВАРНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД**

Специальность 25.00.07 - Гидрогеология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальном исследовательском Томском политехническом университете» и Томском филиале Учреждения Российской академии наук Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, профессор Букаты Михаил Болеславович

доктор геолого-минералогических наук, профессор Шварцев Степан Львович

Официальные оппоненты:

Матусевич Владимир Михайлович, д.г.-м.н., профессор, Тюменский государственный нефтегазовый университет, профессор кафедры геологии месторождений нефти и газа

Жуковская Елена Анатольевна, к.г.-м.н., ОАО «Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа», заведующая лабораторией седиментологии

Ведущая организация:

Федеральное государственное унитарное предприятие «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья»

Защита состоится «30» марта 2012 года в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.269.03 при ФГБОУ ВПО «Национальном исследовательском Томском политехническом университете», по адресу: 634034, г. Томск, пр. Ленина, 2а, строение 5, 20 корпус, 504 аудитория

С диссертацией можно ознакомиться в Научно-технической библиотеке ФГБОУ ВПО «Национального исследовательского Томского политехнического университета» (634050, г. Томск, ул. Белинского, 55).

Автореферат разослан «27» февраля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, к.г.-м.н.



Лепокурова Олеся Евгеньевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Территория Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления (ЮТЗ) представляет собой уникальную кладовую углеводородного сырья на Сибирской платформе, за счёт месторождений которой планируется существенное наполнение нефтью и газом нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан. Это в свою очередь подталкивает недропользователей и владельцев лицензионных участков к быстрым темпам развития и скорейшему вводу в эксплуатацию месторождений, подготовленных к разработке.

Среди задач, которые необходимо решить до ввода месторождений в эксплуатацию, остро стоит проблема утилизации больших объемов промышленных стоков, основную массу которых будут составлять добываемые вместе с нефтью попутные воды. По ориентировочным оценкам объёмы промышленных стоков с каждого куста добывающих скважин будут составлять порядка 3000-4000 м³/сут.

Цель работы заключается в выборе и обосновании горизонтов-коллекторов для организации полигонов подземного захоронения промстоков на основе анализа гидрогеологических особенностей Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления и результатов прогнозного физико-химического моделирования.

Основные задачи: 1) сбор, получение и комплексный анализ фактического материала по гидродинамике, геотермии и геохимии подземных вод и рассолов; 2) выявление и обоснование перспективных горизонтов для закачки в них промстоков; 3) оценка фильтрационно-ёмкостных свойств горных пород выделенных горизонтов; 4) создание многофакторных прогностических моделей предполагаемых полигонов подземного захоронения; 5) моделирование взаимодействия и оценка совместимости закачиваемых стоков с пластовой водой и вмещающей породой.

Исходные данные и методика исследования. Исходными материалами послужили результаты исследований автора (в составе лаборатории гидрогеологии нефтегазоносных бассейнов Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН), посвящённые вопросам геологии, гидрогеологии и нефтегазоносности Сибирской платформы. В диссертации также обобщены и использованы фондовые материалы предыдущих исследований.

В работе использованы данные по 212 скважинам, расположенным на 37 площадях Байкитской антеклизы. Проанализированы материалы по результатам испытания 903 объектов. База фактического материала по флюидам представлена результатами 190 анализов ионно-солевого, 84 анализов микрокомпонентного, а также немногочисленных анализов газового и органического состава подземных вод.

В качестве основных расчетных зависимостей для определения фильтрационно-ёмкостных свойств коллекторов по результатам опытно-фильтрационных исследований

глубоких скважин используются широко известные формулы гидрогеодинамики: 1) логарифмического приближения уравнения Тейса, описывающего плоско-радиальную фильтрацию флюида к скважине; 2) обработки кривых восстановления давления по методу Хорнера.

Для хранения информации использовался Microsoft Office Access. Обработывались данные с помощью программных продуктов Microsoft Office Excel и StartSoft Statistica; для картографической обработки информации широко применялись пакеты программ Surfer, CorelDRAW, Arc GIS.

Исследование гидрогеохимических процессов, сопровождающих захоронение промстоков, проведено на базе всестороннего изучения этапов взаимодействия в системе вода-порода и развивающихся теоретических представлений о физико-химическом моделировании.

Гидрогеологические расчёты и моделирование осуществлялись с использованием программного комплекса HydroGeo (автор и разработчик М.Б. Букаты), учитывающего особенности и свойства глубокозалегающих рассолов изучаемой территории. Входящая в его состав программа гидрогеохимического моделирования основана на принципе равновесного физико-химического моделирования “по константам стехиометрических уравнений реакций” с учётом неидеальности раствора по методике К.С. Питцера.

Научная новизна: 1) на основе комплексного геолого-гидрогеологического анализа для закачки подтоварных и сточных вод впервые для данной территории выделены наиболее перспективные водоносные горизонты усольской свиты (осинский горизонт), а также водонасыщенная часть рифея ниже уровня водо-нефтяного контакта; 2) впервые оценены фильтрационные параметры выделенных горизонтов; 3) с использованием передовых методов компьютерной обработки и анализа информации, реализованных в программном комплексе HydroGeo, созданы не только качественные, но и количественные модели полигонов утилизации промстоков; 4) определены масштабы и направленность геохимического взаимодействия закачиваемых вод с пластовыми рассолами и породами-коллекторами, а также оценены последствия этого взаимодействия.

Практическая значимость и реализация работы. Результаты диссертационного исследования использованы при составлении документа «Технический проект размещения отходов использованных и попутно-извлеченных подземных вод при освоении первоочередного участка Юрубчено-Тохомского месторождения» (совместно с ОАО «Роснефть», ОАО «Восточно-Сибирская нефтегазовая компания», ООО «РН-КрасноярскНИПИнефть»).

В ноябре 2011 года начаты работы по бурению первых трех скважин с целью утилизации промышленных отходов, в которых будет проведено испытание всех обоснованных в работе интервалов.

Апробация работы. Основные результаты исследований по теме диссертации, отдельные её разделы и подразделы докладывались и обсуждались на международных

конференциях, симпозиумах и форумах в Абакане (2008), Ухте (2009), Новосибирске (2011); всероссийских конференциях в Москве (2010), Новосибирске (2008, 2011), Иркутске (2011), Сургуте (2008); научно-практической конференции «Современные вызовы при разработке и обустройстве месторождений нефти и газа Сибири» (Томск, 2011); Международном научном симпозиуме студентов и молодых учёных им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2008, 2009).

Публикации. Основные результаты проведённой работы изложены в 22 статьях, в том числе 1 статья опубликована в центральном издании, включённом в перечень ВАК.

Объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературных источников (более ста наименований). Работа изложена на 159 страницах, включая 34 рисунка, 29 таблиц.

Исследования по теме диссертации выполнялись в ТПУ и ТФ ИНГГ СО РАН, где автор работает в настоящее время.

В процессе работы автор обращался за советами и консультациями к докторам геолого-минералогических наук Е.М. Дутовой, Н.М. Рассказову, кандидатам геолого-минералогических наук Д.А. Новикову, А.К. Битнеру, А.Д. Назарову, О.Е. Лепокуровой, Е.А. Гладких, К.И. Кузеванову, Е.В. Домрочевой, Н.В. Гусевой, кандидату биологических наук А.А. Ямских. Всем им, и многим другим, автор приносит искреннюю благодарность.

Отдельную признательность за помощь, оказанную при сборе информации, хочется выразить сотрудникам геологических и экологических отделов предприятий, осуществляющих геологоразведочную деятельность на территории ЮТЗ: ООО «Газпром геологоразведка», в лице начальника геологического отдела А.А. Шапошникова и начальника отдела экологии Г.А. Панковой; ООО «Славнефть-Красноярскнефтегаз», в лице главного геолога Н.А. Зощенко и начальника отдела разработки А.Г. Галимсарова.

За моральную поддержку и содействие в выполнении работы глубокую признательность автор выражает коллективам кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидроэкологии ИПР НИ ТПУ, ПНИЛ гидрогеохимии НОЦ «Вода» и Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука.

Особую благодарность за высокие требования к работе и бесценные советы автор выражает своему первому научному руководителю, учителю и наставнику доктору геолого-минералогических наук М.Б. Букаты (трагически погибшему в 2010 г.) и второму научному руководителю доктору геолого-минералогических наук С.Л. Шварцеву.

Первое защищаемое положение.

Рассолы подсолевой и соленосной гидрогеологических формаций Юрубчено-Тохомской зоны являются седиментационными, высокоминерализованными, кислыми, средне- и высокометаморфизованными, хлоридными кальциевыми, натриево-кальциевыми либо

кальцево-натриевыми. Гидрогеологические особенности этих формаций указывают на надёжную изоляцию отдельных горизонтов друг от друга. В отличие от этого рассолы надсолевой формации местами в той или иной мере разбавлены инфильтрационными водами и являются рассолами выщелачивания хлоридно-натриевого типа, что свидетельствует о ненадёжной изоляции их от вышележащих горизонтов.

Изучением гидрогеологических особенностей Сибирской платформы в целом, и её западной окраины в частности, связано с именами Н.И. Толстихина, И.К. Зайцева, Е.А. Баскова, Е.В. Пиннекера, М.Г. Валяшко, С.Л. Шварцева, А.Э. Конторовича, В.А. Кирюхина, Г.Д. Гинсбурга, О.А. Бабошиной, В.И. Вожова, А.С. Анциферова, В.Н. Борисова и многих других.

В последние годы изучением подземных вод и рассолов исследуемой территории занимались А.А. Карцев, С.Б. Вагин, В.Ф. Обухов, А.А. Дзюба, С.В. Алексеев, М.Б. Букаты, Л.Г. Учителева, А.Д. Назаров, А.И. Сурнин и др.

Юрубчено-Тохомская зона нефтегазонакопления занимает обширное пространство площадью в 20 тыс. км² в центральной части Байкитской антеклизы и расположена в наиболее приподнятой ее части, выделенной в Камовский свод (рис. 1).

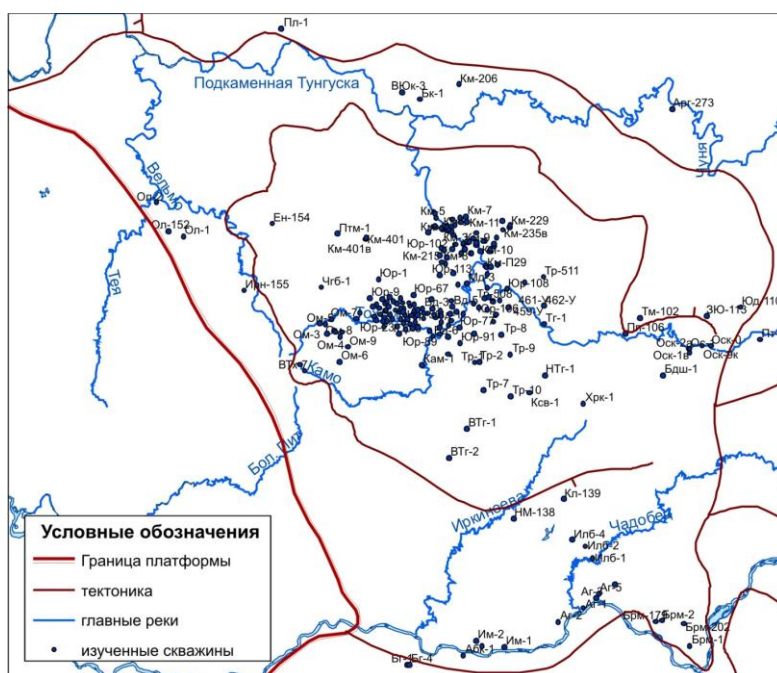


Рис. 1. Обзорная схема размещения основных изученных скважин

К основным особенностям геологического строения, достаточно подробно описанного во второй главе диссертационной работы, можно отнести то, что в разрезе выделяются три структурных этажа: нижний, промежуточный и верхний (рис. 2). Нижний структурный этаж слагают архей-протерозойские образования кристаллического фундамента; промежуточный этаж представлен карбонатными и терригенно-карбонатными отложениями рифейского возраста; верхний этаж плащеобразно перекрывает складчато-блоковые рифейские комплексы

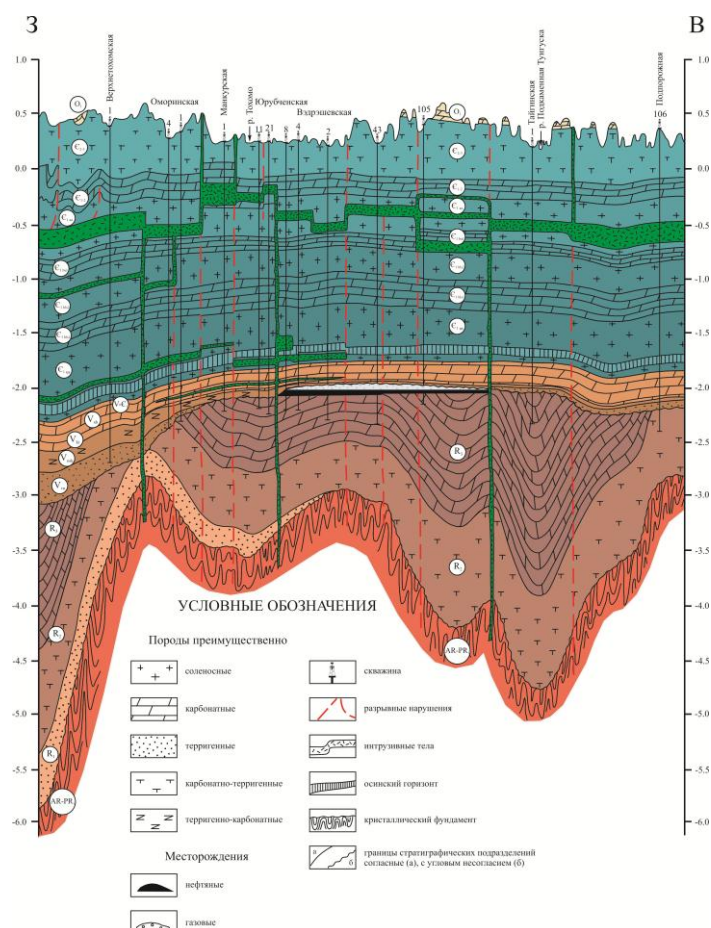


Рис. 2. Субширотный геологический разрез (Мигурский А.В., 1996)

практически повсеместную дизъюнктивную нарушенность и блоковое строение осадочного чехла (Добрецов, Буслов, 2007). Важным элементом разреза осадочной толщи являются интрузивные образования триаса (представлены пластовыми и секущими телами), пронизывающие кембрийские и вендские отложения и имеющие почти повсеместное распространение (Шемин, 2007). При решении вопросов утилизации промстоков особый интерес представляют высокопроницаемые зоны водоносных горизонтов, предполагаемые на контакте их с интрузивными телами.

По гидрогеологическому районированию Юрубчено-Тохомская зона нефтегазоаккумуляции расположена в юго-западной части сложно построенной гидрогеологической структуры Тунгусского артезианского бассейна Восточно-Сибирской артезианской области (Кириухин, 2005). М.Б. Букаты применительно к условиям исследуемого участка (2009) разработана обобщённая схема гидрогеологической стратификации (табл. 1). Гидрогеологические комплексы и слагающие их горизонты, согласно данной схеме, объединены в три гидрогеологические формации.

В условиях рассматриваемого региона, где засоление пород отмечается уже в эвенкийской свите, а нижнекембрийские отложения соленосны, зона, содержащая соленые воды и рассолы, начинается обычно с абсолютных отметок +50 – -50 м (на 150-200 м ниже

и формирует более простые структуры. В разрезе верхнего структурного этажа выделяются терригенные, карбонатно-терригенные, карбонатные, галлогенно-карбонатные и глинисто-карбонатные отложения венда, кембрия, ордовика и триаса, а также четвертичные образования.

Одной из основных особенностей геологического строения исследуемого региона является наличие в разрезе мощных соленосных толщ, обеспечивающих высокую степень изоляции водоносных горизонтов. Также эту территорию отличают мобильная тектоника, вызвавшая

местного базиса эрозии). В отложениях осадочного чехла наибольшим распространением пользуются рассолы с минерализацией от 130 до 470 г/л. Эти рассолы в основном кислые (рН изменяется от 2,3 до 6,8, в отдельных случаях увеличиваясь до 8,3).

По соотношению главных компонентов ионно-солевого состава рассолы имеют хлоридный кальциевый, натриево-кальциевый, либо кальциево-натриевый состав. Более минерализованные рассолы являются натриево-кальциевыми, реже магниево-кальциевыми, а при минерализации свыше 400-410 г/л только кальциевыми. И только в самой верхней части разреза (выше абсолютных отметок +100– +190 м) появляются пресные воды, имеющие пестрый химический состав (гидрокарбонатный, гидрокарбонатно-сульфатный натриево-кальциевый, магниевый, магниево-кальциевый и кальциевый).

Формирование состава и солёности подземных вод ЮТЗ неразрывно связано с историей геологического развития региона. Взаимодействие подземных вод и рассолов с породами различного состава в меняющихся тектонических условиях привело к их сложным взаимным преобразованиям. Поэтому в пределах ЮТЗ рассолы образуют непрерывный ряд между двумя крайними генетическими типами: хлоридных кальциевых рассолов предельной метаморфизации (седиментационных) и чистых хлоридных натриевых рассолов выщелачивания солей (инфильтрационных), т.е. в водоносных горизонтах могут встречаться рассолы смешанного седиментационно-инфильтрационного происхождения (по Е.В. Пиннекеру). Для определения генетических типов рассолов использовались существующие критерии отличия седиментационных рассолов от инфильтрационных (Геохимия, 2004; Шварцев, 2000) (табл. 2).

Судя по значениям генетических коэффициентов среди рассолов, изученных в пределах ЮТЗ, в отложениях подсолевой и соленосной формаций присутствуют рассолы

Таблица 1. Обобщенная гидрогеологическая стратификация Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазоаккумуляции (Букаты, 2009 с изменениями автора)

Региональные и субрегиональные резервуары				
Возраст	Ярус, свита	Индекс	Горизонт, подкомплекс	Комплекс
Надсолевая формация				
P-N-Q	-	-	Аллювиальный, Элювиально-делювиальный, Подмерзлотный зон трещиноватости	Палеоген-четвертичный
T	Учамская Тугончанская	-		Верхнепалеозойско-триасовый
O	Байкитская	-	Байкитский	Ордовикский
	Чуньская	-	Чуньский	
	Пролетарская	-	Пролетарский	
C ₂₋₃	Эвенкийская, Оленчминская	-	Верхнеэвенкийский, Среднеэвенкийский, Нижнеэвенкийский, Оленчминский	Надсолевой
Є ₁₋₂	Литвинцевская/Ангарская	-	Верхнеангарско-Литвинцевский	
Соленосная формация				
Є ₁₋₂	Литвинцевская	A _I	Литвинцевский	Ангарско-литвинцевский
C ₁	Ангарская	-	-	
	Булайская	A _{II}	Булайский	Булайский
	Бельская	A _{III}	Верхнебельский	Бельский
		A _{IV}	Нижнебельский	
		A _V	Христофоровский	
		A _{VI}	Балыхтинский	
	Усольская	B _I	Осинский	Усольский
Подсолевая формация				
V-C ₁	Тэтэрская	B _{III-V}	Тэтэрский	Карбонатный
V	Собинская	B _{VI}	Собинский	
	Катангская	B _{VII}	Оморинский	
	Оскобинская	B _{VIII}	Оскобинский	Терригенно-сульфатно-карбонатный
		B _{IX}	-	
		Ванаварская	B _{I-V}	Ванаварский
R ₃	Ирэмэжнская Токурская	PI ₀	Ирэмэжнский	Верхнерифейский
R ₂	Вингольдинская Рассолкинская	PI ₁	Юктенский	
	Юктенская Копчерская			
	Куомбинская	PI ₂	Куомбинский Юрубченский	
	Долгоктинская Юрубченская			
R ₁	Мадринская Вэдрэшевская Зелиндоконская	-	-	

седиментационного происхождения.

Таблица 2. Генетические коэффициенты и коэффициент метаморфизации подземных вод и рассолов

Cl/Br	Br/Cl·10 ⁻³	rNa/rCl	Ca/Cl
подсолевая формация			
<u>19,9 ÷ 187,0</u> 65,9 (22)	<u>5,3 ÷ 50,0</u> 20,6 (22)	<u>0,06 ÷ 0,58</u> 0,46 (22)	<u>0,12 ÷ 0,44</u> 0,2 (22)
солёносная формация			
<u>39,0 ÷ 159,2</u> 79,4 (14)	<u>6,3 ÷ 25,6</u> 15,9 (14)	<u>0,12 ÷ 0,99</u> 0,57 (14)	<u>0,24 ÷ 0,42</u> 0,3 (14)
надсолевая формация			
<u>0,6 ÷ 1876,0</u> 922,2 (10)	<u>18,9 ÷ 84,4</u> 35,1 (10)	<u>0,92 ÷ 1,75</u> 1,08 (10)	<u>0,0004 ÷ 0,086</u> 0,04 (10)

в числителе – пределы, в знаменателе – среднее, в скобках – число определений

Разброс значений генетических коэффициентов рассолов подсолевой гидрогеологической формации не должен удивлять, так как необходимо учесть древний возраст осадочных пород, насчитывающий миллионы лет, а также сложную геологическую историю региона. Анализ значений этих же коэффициентов солёносной гидрогеологической формации указывает на то, что в нижней её части присутствуют преимущественно седиментационные рассолы, которые вверх по разрезу могут сменяться сначала рассолами смешанного происхождения, а в верхней части (Є₁₋₂ an-lit) – инфильтрационными.

Подавляющая часть рассолов по величине коэффициента метаморфизации Ca/Cl являются среднеметаморфизованными. Повышенные значения коэффициента метаморфизации подтверждают высокую степень изоляции рассолов.

Вышележащие водоносные комплексы, входящие в состав надсолевой гидрогеологической формации, в пределах БА содержат в нижней части разреза солёные воды и инфильтрационные рассолы выщелачивания (также могут вмещать в различной степени разбавленные внутрипластовые инъекции преимущественно седиментационных рассолов из горизонтов нижележащей формации), а выше – пресные воды (табл. 2).

Подземные воды в этой части разреза формировались преимущественно путем инфильтрационного выщелачивания и растворения каменной соли в условиях относительной гидрогеологической раскрытости водовмещающих отложений.

Особенности строения и истории геологического развития Юрубчено-Тохомской зоны указывают на наличие в разрезе как пород-коллекторов, так и флюидоупоров, что свидетельствует о возможности успешного решения проблемы утилизации промстоков. Проведённый анализ гидрогеологических условий показал: все исследуемые рассолы являются древними, в основном седиментационными, средне- и высокометаморфизованными, т.е. они находятся в условиях застойного гидродинамического режима и характеризуются высокой степенью изолированности и, следовательно, могут обеспечить надёжную изоляцию закачиваемых стоков в недрах, минимизируя негативное воздействие на окружающую среду.

Второе защищаемое положение.

В разрезе осадочного чехла Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления имеется серия водоносных горизонтов, которые по своим фильтрационно-ёмкостным характеристикам, приуроченности к зонам затрудненного и весьма затрудненного водообмена, надёжной изоляции от возможных перетоков пригодны для захоронения больших объёмов подтоварных и сточных вод.

Подлежащие утилизации стоки состоят из нескольких составляющих:

1. Хозяйственно-бытовые стоки, количество которых приблизительно соответствует нормативному потреблению около $104 \text{ м}^3/\text{сут}$, представляют собой пресную воду, измененную в процессе её хозяйственного и бытового использования;
2. Подтоварные воды, на начальном этапе являющиеся пластовыми водами продуктивной юрубченской толщи, это метаморфизованные хлоридные натриево-кальциевые, крепкие рассолы, имеющие минерализацию порядка 250 г/л , объёмы подтоварных вод отвечают их планируемой добыче в $540\text{-}1700 \text{ м}^3/\text{сут}$;
3. Производственные стоки, включающие воды, участвовавшие в обессоливании нефти, воды ливневой канализации (ультрапресные дождевые), пресные воды, использованные для промывок/пропарок технологического оборудования. Количество производственных стоков определяется технологическими регламентами и оценивается приблизительно в $2234 \text{ м}^3/\text{сут}$. В целом, эти воды солоноватые, с очень изменчивой минерализацией до $6,3 \text{ г/л}$;
4. Смесь подтоварных вод и производственных стоков (минерализация смеси, согласно выполненным нами расчетам, изменяется от $49,8 \text{ г/л}$ в первый год закачки до $102,6 \text{ г/л}$ в пятый год), объёмы которой меняются от 2778 в первый год эксплуатации полигона захоронения до $3945 \text{ м}^3/\text{сут}$ к концу пятого года.

В четвёртой главе диссертационной работы показано, что наибольший интерес при решении вопросов нейтрализации промстоков представляет их утилизация путём подземного захоронения в глубокие горизонты в зоны затрудненного и застойного гидродинамического режима на глубины от $200\text{-}300$ до $1500\text{-}2500 \text{ м}$. На месторождениях, разработка которых ведется уже долгое время, проблема утилизации жидких отходов легко решается путем закачки образующихся стоков в систему поддержания пластового давления. Однако на тех месторождениях, которые только вводят в эксплуатацию и на которых эта система отсутствует, вопросы утилизации сточных и добываемых вместе с нефтью попутных (подтоварных) вод становятся для недропользователей серьёзной проблемой.

Отложения зоны активного водообмена надсолевой гидрогеологической формации слабо подходят для закачки в них больших объёмов высокоминерализованных промстоков по следующим причинам: во-первых, верхняя часть разреза является единственным источником пресных вод питьевого качества, во-вторых, возможна разгрузка закачиваемых стоков в реки с их последующим загрязнением. Но в то же время отложения нижней части этой формации

могут использоваться для закачки в них пресных или слабоминерализованных хозяйственно-бытовых стоков.

Для использования в целях захоронения первым достаточно перспективным горизонтом является высокопроницаемый трещинно-порово-кавернозный водоносный горизонт, приуроченный к самой верхней части карбонатно-соленосной толщи нижнего кембрия. Он широко распространен в нижней части разреза литвинцевской и верхней части ангарской свит, представлен переслаивающимися пластами доломитов, доломито-ангидритов и каменной соли. Этот горизонт не имеет определённой литолого-стратиграфической приуроченности и в зависимости от конкретных условий локализуется там, где за счёт соляного карста образуются высокопроницаемые породы, сменяющиеся глубже практически непроницаемой соленосной толщей. В отношении данного горизонта опасения вызывает лишь возможность восходящих перетоков по зонам разрывных нарушений, проводящие свойства которых в настоящее время не изучены.

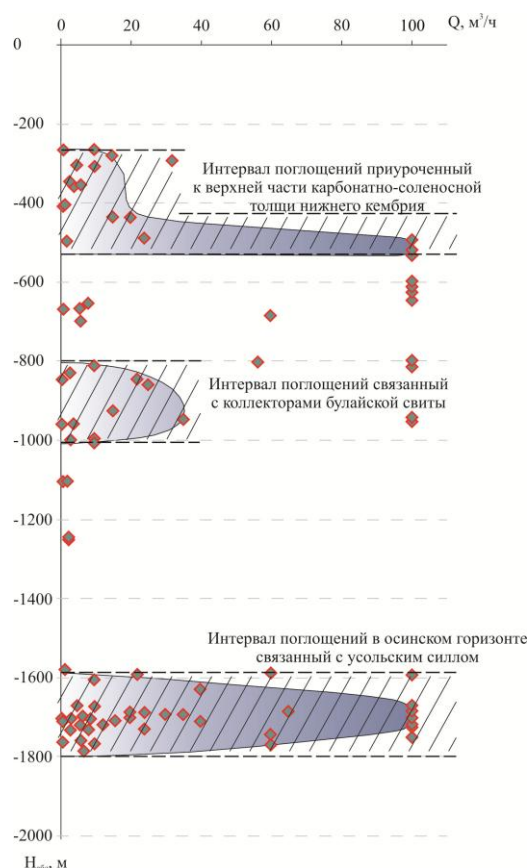


Рис. 3. Интенсивность поглощения промывочной жидкости в процессе бурения скважин (надсолевая и соленосная гидрогеологические формации)

Основной информацией о коллекторских свойствах отложений нижней части литвинцевской и верхней части ангарской свит являются сведения о поглощениях в процессе бурения скважин. Дебит поглощений изменяется в широких пределах от 1-2 до 20-40 м³/час. В отдельных случаях, связанных с наличием в разрезе интрузивных тел, интенсивность поглощений достигает катастрофических значений и приводит к полной потери циркуляции (дебит поглощений больше 100 м³/час) (рис. 3).

Ориентировочная оценка фильтрационно-ёмкостных свойств (ФЕС) выполнена по методу установившихся отборов с использованием программного комплекса HydroGeo (ПК HG) (Букаты, 2002). Расчёты свидетельствуют о достаточно высоких фильтрационных параметрах горизонта, которые изменяются в относительно небольших пределах: коэффициент фильтрации —

от 0,2 до 0,3 м/сут, коэффициент пьезопроводности — от 3,5 до $5,9 \times 10^5$ м²/сут, коэффициент проницаемости — от 0,2 до 0,3 мкм². Коэффициент пористости данных отложений по результатам обработки комплекса геофизических исследований скважин (ГИС) варьирует от 3 до 13,6 % и составляет в среднем 6,5 %, а эффективная мощность достигает 27 м.

Нижележащая соленосная формация в экономическом плане менее перспективна для организации системы захоронения подтоварных вод ввиду её более глубокого залегания. С другой стороны, она характеризуется высокой степенью изоляции и застойным гидродинамическим режимом, поэтому закачка промстоков в горизонты данной формации обеспечивает более высокую степень их изоляции. Исходя из данных о притоках и поглощениях, полученных при бурении и испытании скважин на Куюмбинской, Юрубчено-Тохомской и Терско-Камовской площадях, основной интерес, с точки зрения использования для захоронения промстоков, среди них могут представлять булайский и осинский горизонты, залегающие на глубинах 863-1232 и 1726-2134 м соответственно.

Отсюда вторым горизонтом, пригодным для утилизации подтоварных и сточных вод, является водоносный горизонт отложений булайской свиты, сложенный доломитами иногда известковистыми. В качестве локальных покрышек для булайского коллектора могут служить пласты с повышенной глинистостью, а надежной региональной покрышкой служит нижний горизонт солей ангарской свиты.

Прежде всего на присутствие коллекторов в булайском горизонте указывают сведения о поглощениях в процессе бурения. Как и в предыдущем случае, оценка ФЕС выполнена по методу установившихся отборов, а её результаты указывают на достаточно низкие фильтрационно-ёмкостные свойства исследуемого горизонта. Согласно выполненным расчётам, коэффициент фильтрации имеет низкие значения и изменяется от 0,01 до 0,05 м/сут, коэффициент пьезопроводности – от 0,06 до $0,85 \times 10^5$ м²/сут, коэффициент проницаемости – от 0,004 до 0,05 мкм². В отложениях булайской свиты, по данным обработки материалов ГИС, среднее значение общей пористости составляет $2,8 \div 8,7$ %, а эффективная мощность достигает лишь 8 м.

В сильнотрещиноватых доломитизированных известняках осинского горизонта улучшение фильтрационных свойств коллектора связано с появлением или увеличением в нем трещиноватости, благодаря термальному и механическому воздействию силла. Судя по имеющимся данным, улучшенные коллекторские свойства прикровельной части осинского горизонта характеризуются относительно хорошей выдержанностью. При этом эффективная мощность, зоны с улучшенными ФЕС изменяется от 5 до 13 м. По результатам бурения и проведенных испытаний осинский горизонт характеризуется высоким пластовым давлением (219 кгс/см^2), превышающим давления в рифейской залежи, что свидетельствует о его надёжной гидродинамической изолированности от выше и нижележащих горизонтов.

С помощью ПК НГ оценены фильтрационные параметры осинского горизонта. Полученные данные свидетельствуют об их высоких значениях: так значение коэффициента фильтрации достигает 2,9 м/сут, коэффициента пьезопроводности – $4,3 \times 10^6$ м²/сут, коэффициента проницаемости – 2,7 мкм². Коэффициент пористости изменяется от 4,4 до 12,3 %. Мощность осинского горизонта достигает 75 м (на отдельных участках – 100 м), но

средняя эффективная мощность наиболее проницаемой зоны составляет 9 м, поскольку для захоронения больших объемов промстоков в разрезе нужно выявить именно эту наиболее проницаемую зону.

Горизонты подсолевой гидрогеологической формации (в основном рифейские), залегающие на глубинах от 1900 до 2500 м, с экономической точки зрения ещё менее привлекательны для утилизации в них промстоков, т.к. строительство глубоких скважин, используемых только для временного захоронения этих стоков, не целесообразно. Но если учесть, что они в любом случае необходимы при создании системы поддержания пластового давления, и если обеспечить строительство и опережающий ввод в эксплуатацию нагнетательной скважины заранее, то данные горизонты вполне могут использоваться для утилизации подтоварных и сточных вод до начала поддержания пластового давления.

Отложения рифея (ниже водонефтяного контакта) являются перспективными для захоронения промстоков, в которых доминируют подтоварные воды. Они отличаются высокой приемистостью и при вскрытии проявляют себя интенсивными поглощениями. Помимо данных испытания и опробования, о фильтрационных параметрах горизонтов рифея можно приблизительно судить по поглощениям промывочной жидкости при бурении скважин в пределах Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления (рис. 4).

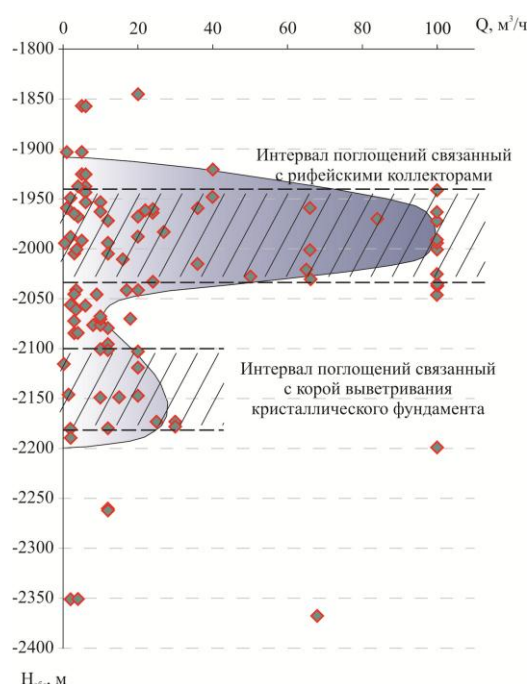


Рис. 4. Интенсивность поглощения промывочной жидкости в процессе бурения скважин (надсолевая и соленосная гидрогеологические формации)

Ещё одна причина, по которой вариант организации системы захоронения в отложениях рифея является привлекательным, — это наличие большого количества информации о проведенных в данной части разреза гидродинамических исследованиях. Для получения достоверных данных о ФЕС горизонтов рифея выполнена обработка результатов исследований проведенных в скважинах ЮТЗ, указывающая на неплохие параметры этих горизонтов. Значения ФЕС изменяются в достаточно широких пределах: коэффициент фильтрации — $0,01 \div 0,45$ м/сут, пьезопроводность — $0,03 \div 8,5 \times 10^5$ м²/сут, коэффициент проницаемости — $0,01 \div 0,54$ мкм². По данным интерпретации ГИС среднее значение коэффициента пористости составляет 5 %, а средняя эффективная мощность рифейского коллектора составляет 91 м.

Анализ информации, полученной по всем перспективным (в пределах ЮТЗ) водоносным горизонтам, указывает на то, что для организации системы захоронения в

наибольшей степени подходят коллектора осинского горизонта нижнего кембрия и водонасыщенной части рифея. Трещинно-порово-кавернозные высокопроницаемые отложения вернеангарско-литвинцевской свиты, обладающие хорошими фильтрационными свойствами, могут использоваться для захоронения пресных и слабоминерализованных хозяйственно-бытовых стоков только при условии отсутствия разгрузки, в вышележащие горизонты, содержащие пресные воды питьевого качества.

Третье защищаемое положение.

Захоронение различных видов стоков выводит из равновесия и активизирует взаимодействие в системе вода-порода, приводящее к растворению одних минералов и образованию других. Поэтому все стоки обладают низкой совместимостью с пластовыми водами и породами соленосной и надсолевой гидрогеологических формаций и только часть стоков, которая извлечена из нефтегазоносных отложений, хорошо совместима с рассолами рифея (подсолевая гидрогеологическая формация).

В последние годы всё большее количество учёных и специалистов гидрогеологов/гидрогеохимиков при решении достаточно сложных задач и выполнении прогнозных расчетов используют такой мощный и удобный инструмент, как моделирование, позволяющий оценивать степень и направление химических взаимодействий, протекающих между природными водами и породами. Физико-химическое моделирование позволяет понять механизмы формирования и трансформации химического состава подземных вод и вмещающих пород, а также решить конкретные задачи. В данном случае – не только оценить совместимость различных производственных стоков с пластовыми водами и породами коллектора при эксплуатации месторождений ЮТЗ, но и выявить последствия захоронения этих стоков.

Для оценки совместимости в многоцелевом программном комплексе HydroGeo применена условная упрощенная 3D-модель фильтрации, протекающей между нагнетательной скважиной и пластом-коллектором.

При создании модели в гидрогеохимическую систему включены базовые ионы: H^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , OH^- , Cl^- , $(SO_4)^{2-}$, $(HCO_3)^-$, H_2O , ассоциаты: $(CO_3)^{2-}$, CO_2 и минералы: $NaCl$ - галит, $CaCO_3$ - кальцит, $CaSO_4$ - ангидрит, $CaMg(CO_3)_2$ - доломит. Целью моделирования стало выявление основных геохимических процессов, которые происходят в пласте, оценка их направленности, характера протекания, масштабов и последствий.

Общий сценарий моделирования состоял из следующих этапов:

- пересчет анализов всех используемых вод при стандартных (лабораторных) условиях для восстановления баланса электронейтральности и устранения начального пересыщения из-за возможных погрешностей анализа;
- изменение термодинамических условий раствора на пластовые (имитирует «перемещение» раствора на забой);

- восстановление равновесия пластовой воды с породой при начальных РТ-условиях пласта;
- собственно 3D-моделирование геомиграции, включающее одновременный расчет гидродинамики, геотермии и гидрогеохимических процессов в движущемся потоке с учетом их кинетики.

Результаты проработки варианта утилизации хозяйственно-бытовых стоков в отложения *верхнеангарско-литвинцевского горизонта* нижнего кембрия, представлены в виде графиков техногенного изменения состава породы по отдельным минералам.

При закачке пресных вод в горизонты, содержащие минералы с максимальными скоростями растворения, например – галита, происходит их интенсивное растворение. На рис. 5а видно, что в водоносном горизонте за четыре года эксплуатации полигона захоронения хозяйственно-бытовых стоков в радиусе 20-30 м от нагнетательной скважины происходит практически полное растворение этого минерала.

Закачиваемые воды оказываются агрессивными и по отношению к ангидриту CaSO_4 , которого в околоскважинном пространстве растворяется до $15,5 \text{ кг/м}^3$ или 6% от исходного количества (рис. 5б). В отличие от галита и ангидрита карбонатные минералы не растворяются.

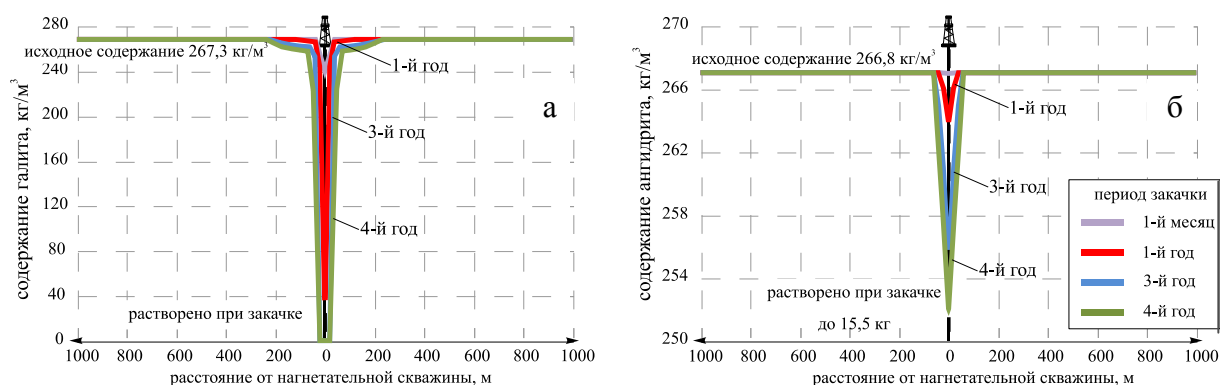


Рис. 5. Количество галита (а) и ангидрита (б), растворяемых закачиваемыми стоками в зависимости от времени и расстояния от нагнетательной скважины (по данным моделирования)

Оценка возможности утилизации необходимых объемов подтоварных вод, производственных стоков, а также их смеси, в отложения *осинского горизонта* проводилась аналитическим методом. Выполненные расчеты указывают на то, что захоронение подтоварных вод и производственных стоков можно реализовать без гидроразрыва пласта, используя одну нагнетательную скважину, а для утилизации их смеси необходимы уже две скважины на расстоянии 160 м друг от друга.

Интересными оказались результаты изменения количества соли в водовмещающем горизонте, полученные в результате моделирования варианта утилизации подтоварных вод (рис. 6). Меньшее растворение галита в околоскважинной зоне (рис. 6а) объясняется малым временем взаимодействия закачиваемых вод с вмещающей породой из-за больших объемов и, как следствие, высокой скорости движения раствора. По мере удаления от нагнетательной скважины раствор «растекается» по коллектору, скорость его движения снижается, а время

взаимодействия с породой, наоборот, – увеличивается (что и обеспечивает интенсивное растворение солей на расстоянии 110÷130 м от скважины).

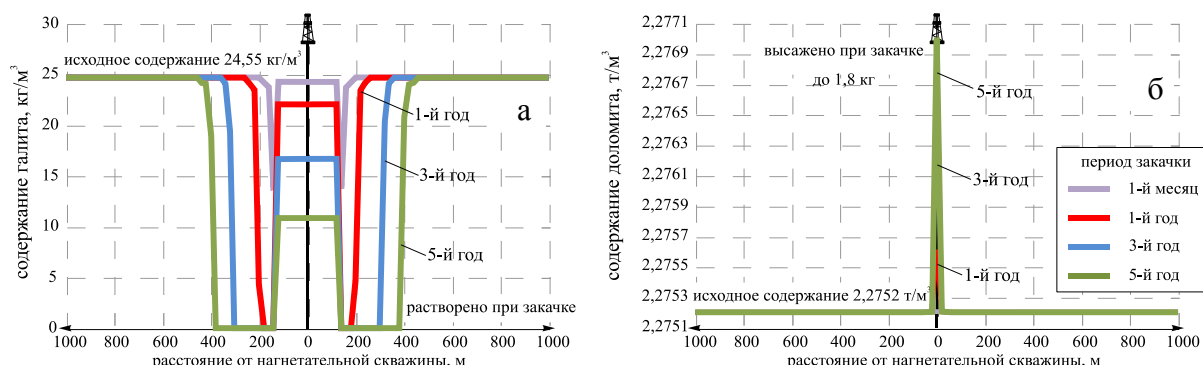


Рис. 6. Количество растворимого галита (а) и новообразованного доломита (б) при закачке стоков в зависимости от времени и расстояния от нагнетательной скважины (по данным моделирования)

Второй по растворимости минерал ангидрит в этом случае практически не растворяется. Помимо растворения галита в пласте происходит обратный процесс осаждения вторичного доломита (рис. 6б), вызванный повышенным содержанием иона Mg^{2+} в подтоварных водах (12,2 г/л) по сравнению с пластовыми водами осинского горизонта (1,43 г/л) и дополнительным привнесом ионов Ca^{2+} . К концу срока эксплуатации полигона захоронения количество новообразованного доломита в призабойной зоне пласта достигает 1,8 кг в каждом кубометре вмещающей породы, т.е. его содержание увеличивается на 0,1 %.

Проработка варианта закачки больших объемов слабоминерализованных производственных стоков в отложения осинского горизонта свидетельствует о растворении больших объёмов галита. К концу пятого года радиус зоны полного растворения галита составит 820 м (рис. 7а). Менее интенсивно (ввиду меньшей растворимости), но в значительных количествах происходит растворение и ангидрита (рис. 7б). К концу пятого года закачки в радиусе 80-100 м от нагнетательной скважины его растворение достигнет 8,26 кг/м³ или порядка 6 % от исходного количества. В отличие от галита и ангидрита, минералы карбонатной группы при закачке производственных стоков не растворяются, а высаживаются из раствора.

За пять лет утилизации стоков в блоке, в котором будет расположена нагнетательная скважина, образуется до 31,6 кг вторичного кальцита (рис. 7в), т.е. его содержание в породе увеличится на 12 % по сравнению с исходным. В соседних блоках на расстоянии 20-ти и 40-ка метров количество новообразованного кальцита составит 28,6 и 3,7 кг, т.е. содержание вырастет на 10,5 % и 1,5 % соответственно.

Вторичный доломит накапливается очень медленно: за первый год в каждом кубометре породы осинского горизонта выпадет в общей сложности 300 г доломита, за второй – 500 г и т.д. В конце пятого года содержание доломита в призабойной зоне пласта радиусом 40 м вырастет на 800-900 г (рис. 7г) или на 0,04 % от исходного.

Анализ результатов, полученных при моделировании захоронения смеси попутно

извлечённых вод и производственных стоков, свидетельствует о том, что характер взаимодействия смеси закачиваемых вод с пластовыми водами и породой идентичен предыдущим (растворяются галит и ангидрит, выпадают кальцит и доломит) и отличается лишь степенью воздействия на породу коллектора.

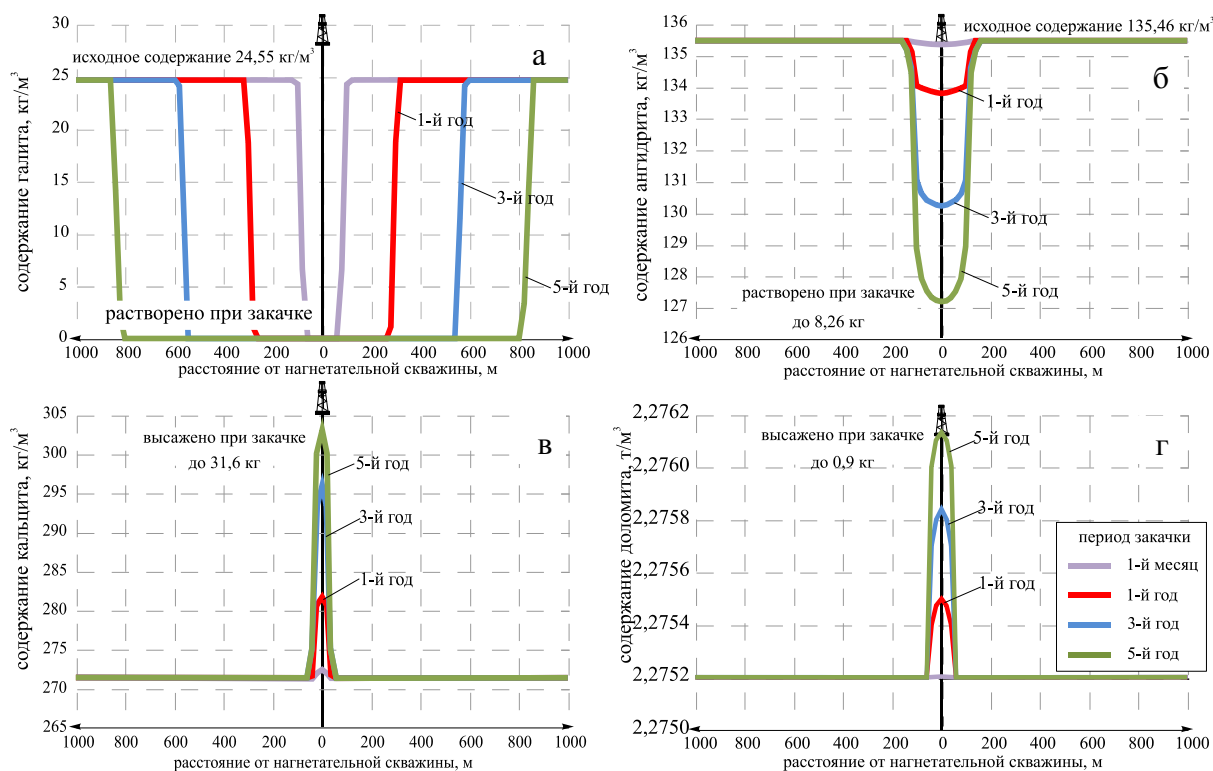


Рис. 7. Количество галита (а) и ангидрита (б), растворяемых закачиваемыми стоками, и вторичного кальцита (в) и доломита (г), высаживаемых при закачке в зависимости от времени и расстояния от нагнетательной скважины (по данным моделирования)

Минерализация утилизируемой смеси меняется с 50 г/л в первом году до 102 г/л в пятом году работы полигона захоронения, за счет этого смесь закачиваемых вод по сравнению с подтоварными водами станет более агрессивной относительно отложений осинского горизонта, а по сравнению с производственными стоками, наоборот – менее агрессивной.

Аналитические расчеты указывают на то, что в *отложениях рифея* без гидроразрыва пласта захоронение подтоварных вод можно организовать, используя одну скважину. Для безопасной закачки большего объема производственных стоков необходимы две нагнетательные скважины на расстоянии 120 м друг от друга. Для утилизации смеси попутных вод и производственных стоков необходимы уже четыре нагнетательные скважины, расположенные в вершинах квадрата с длинной сторон 300 м.

При закачке подтоварных вод в рифейские отложения изменений в минеральном составе пород практически не произойдет, т.к. разница в составе пластовых и закачиваемых вод незначительна. На некотором удалении от нагнетательной скважины будет растворяться только ангидрит, но в незначительных количествах, всего через пять лет на расстоянии 120 м от скважины растворится 59 г, т.е. его содержание уменьшится на 0,2 %.

В призабойной зоне будет наблюдаться осаждение вторичного доломита, к концу пятого года его количество в каждом кубометре исходной породы увеличится на 500 г или на 0,02 % от исходного количества в породе.

В ходе моделирования захоронения производственных стоков в рифейский коллектор установлено, что все изменения исходной породы будут связаны только с растворением ангидрита, поскольку в закачиваемом растворе по сравнению с пластовыми водами содержание иона Ca^{2+} и сульфат-иона SO_4^{2-} низки. В призабойной зоне за пять лет работы полигона в каждом кубометре породы растворится 6,3 кг (23 % от исходного содержания) ангидрита, зона, в которой будет сказываться влияние растворения этого минерала, в плане примет форму эллипса, размеры которого составят 520×200 м.

Содержание доломита в околоскважном пространстве в рифейском пласте-коллекторе при утилизации сточных вод практически не изменится, т.к. содержание гидрокарбонат-иона в производственных стоках практически такое же, как в пластовых водах, а содержание ионов Ca^{2+} увеличивается за счет растворения ангидрита породы и перехода этих ионов в раствор.

При утилизации смеси подтоварных вод и производственных стоков основные преобразования породы будут связаны не только с растворением ангидрита, но и осаждением вторичного доломита. Разбавление подтоварных вод большими объемами промышленных стоков приведёт к тому, что смесь по своему компонентному составу будет сильно отличаться от пластовых вод. Уменьшение содержаний в закачиваемых водах ионов кальция и сульфат-иона увеличит агрессивность этих вод относительно ангидрита (рис. 8а). За пять лет эксплуатации нагнетательных скважин в их призабойной зоне растворится до 6,3 кг (23 % от исходного содержания) ангидрита из каждого кубометра породы.

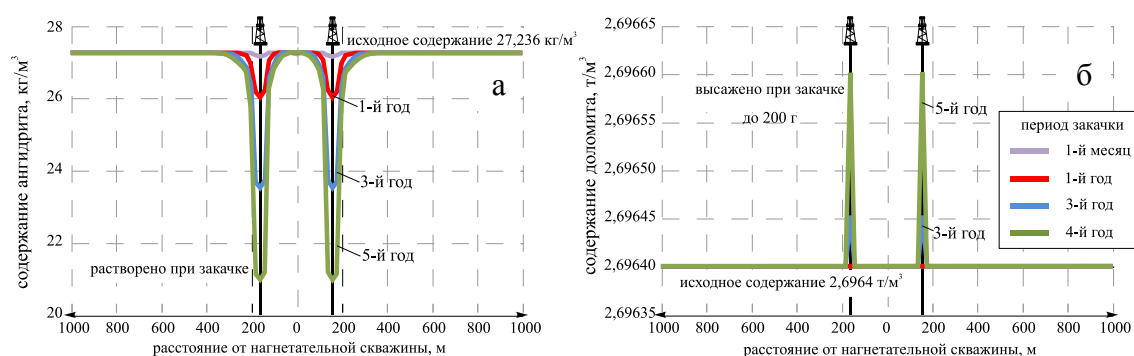


Рис. 8. Количество растворяемого ангидрита (а) и новообразованного доломита (б) при закачке стоков в зависимости от времени и расстояния от нагнетательной скважины (по данным моделирования)

Постоянный приток ионов магния и гидрокарбонат-иона, содержащихся в больших количествах в закачиваемом растворе, и постепенное накопление ионов кальция за счет растворения ангидрита приведёт к тому, что через некоторое время после начала утилизации закачиваемая смесь станет пересыщенной этими ионами и начнёт выпадать доломит (рис. 8б), но в незначительных количествах, всего до 200 г/м³ и только в блоках, в которых расположены нагнетательные скважины.

Изменение минерального состава породы напрямую влияет на изменение её фильтрационных параметров. В случае утилизации пресных или слабоминерализованных вод в горизонты, содержащие большое количество солей, возможно развитие негативных гидрохимических процессов. Поэтому детальное изучение этих явлений должно стать первостепенным при проектировании утилизации промстоков.

Заключение

На основе сведений о геолого-гидрогеологических особенностях, полученных в результате исследования скважин, пробуренных в пределах Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления, впервые для данной территории определены фильтрационно-ёмкостные свойства горизонтов-коллекторов, наиболее перспективных для утилизации больших объёмов промстоков. К этим перспективным горизонтам относятся коллектор верхнеангарско-литвинцевского горизонта, высокопроницаемые отложения осинского горизонта нижнего кембрия и мощная толща водонасыщенной части рифея. Комплекс информации по геохимии, геотермии, гидродинамике подземных вод, а также вещественному составу и фильтрационным свойствам водовмещающих пород позволил создать трехмерные многофакторные прогностические модели предполагаемых полигонов утилизации и оценить совместимость закачиваемых стоков с пластовой водой и вмещающими породами.

В геохимическом плане захоронение различных видов стоков активизирует взаимодействие в системе вода-порода и ведёт к интенсивному растворению солей, а также вторичному минералообразованию в поровом пространстве коллекторов и промысловом оборудовании. Результаты физико-химического моделирования утилизации бытовых стоков ($M=0,4$ г/л) в отложения верхнеангарско-литвинцевского горизонта; сточных ($M=6,3$ г/л) и подтоварных вод ($M=231,2$ г/л), а также их смеси (M до $102,6$ г/л) в отложения осинского горизонта, содержащие быстрорастворимые минералы, подтверждают возможность их интенсивного растворения в исходной породе (вплоть до полного вымывания, в зависимости от объёмов закачки), что может привести к повышению фильтрационных свойств коллектора.

Утилизация всех видов стоков в отложения рифея, судя по результатам выполненного моделирования, приведёт к минимальным техногенным изменениям коллектора и с этой точки зрения рифейские отложения наиболее перспективны, но требует дополнительных исследований при получении точных параметров стока.

Как показывает проведенное физико-химическое моделирование, снижение интенсивности развития нежелательных геохимических процессов может быть в значительной степени скомпенсировано, если для каждого предполагаемого под закачку горизонта с помощью моделирования подобрать оптимальные пропорции смеси пресных вод и попутно извлеченных рассолов.

Таким образом, результаты численного физико-химического моделирования, подтверждают возможность подземного захоронения подтоварных и сточных вод – в

отложения осинского горизонта нижнего кембрия и коллектор водонасыщенной части рифея, а хозяйственно-бытовых стоков в отложения ангарско-литвинцевской свиты нижнего- среднего кембрия.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации:

1. Трифонов Н.С. Обоснование перспективных водоносных горизонтов подземной утилизации подтоварных и сточных вод при разработке месторождений Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. - № 1. – С. 221-226.
2. Трифонов Н.С. Физико-химическое моделирование взаимодействия подземных рассолов с породами продуктивных отложений западной части Сибирской платформы // Наука и инновации XXI века: Труды VIII окружной конференции молодых ученых. – Сургут, 2008. – С. 48-50.
3. Трифонов Н.С. Геохимические последствия возврата подтоварных рассолов в водоносные горизонты Куюмбинского месторождения // Проблемы геологии и освоения недр: Труды двенадцатого международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных. – Томск, 2008. – С. 285-288.
4. Трифонов Н.С. Изучение фильтрационно-емкостных свойств продуктивных горизонтов Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления // Проблемы геологии и освоения недр: Труды двенадцатого международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных. – Томск, 2009. – С. 218-220.
5. Трифонов Н.С. Обоснование выбора перспективных объектов и способов подземной утилизации подтоварных вод на Куюмбинском месторождении // Севергеоэкотех-2009: Материалы X международной молодежной научной конференции. – Ухта, 2009. – Ч. 2. – С. 126-130.
6. Букаты М.Б., Трифонов Н.С., Сидкина Е.С. Гидрогеологическая характеристика нефтегазоносных горизонтов Байкитской антеклизы // Современная гидрогеология нефти и газа (фундаментальные и прикладные вопросы): Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 85-летию А.А. Карцева. – Москва, 2010. – С. 230-236.
7. Трифонов Н.С., Новиков Д.А. Гидрогеологические предпосылки утилизации промышленных стоков при освоении месторождений Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления // Современные вызовы при разработке и обустройстве месторождений нефти и газа Сибири: Тезисы докладов научно-практической конференции. – Томск, 2011. – С. 146-148.
8. Trifonov N.S. Hydrogeology of Yurubcheno-Tochomian oil accumulation zone // Неопротерозойские осадочные бассейны: стратиграфия, геодинамика и нефтегазоносность: Труды международной конференции. – Новосибирск, 2011. – С. 102-104.
9. Трифонов Н.С. Прогноз изменения фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов при утилизации промстоков Юрубчено-Тохомского месторождения // Трофимукские

чтения молодых ученых-2011: Труды Всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых, посвященной 100-летию академика А.А. Трофимука. – Новосибирск, 2011. – С. 301-304.