

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



РУСАКОВА ЮЛИЯ ОЛЕГОВНА

**ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ОЛИГОЦЕНОВОГО ГОРИЗОНТА В ЗАПАДНОЙ
ЧАСТИ СРЕДНЕОБСКОГО ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО БАССЕЙНА:
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И МЕТОДИКА
ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ**

Специальность 1.6.6. Гидрогеология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор
Плавник Андрей Гарьевич

Тюмень, 2026 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ	4
1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОЛИГОЦЕНОВОГО ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА.....	15
1.1. Состояние изученности геолого-гидрогеологических условий и химического состава подземных вод олигоценового горизонта на территории исследования ..	15
1.2. Условия формирования подземных вод района исследований.....	18
1.2.1. Физико-географические условия.....	18
1.2.2. Геологические и гидродинамические условия.....	20
1.2.3. Геокриологические условия.....	30
1.2.4. Техногенная обстановка	30
1.3. Выводы	32
2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОВРЕМЕННОГО ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОЛИГОЦЕНОВОГО ГОРИЗОНТА В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СРЕДНЕОБСКОГО ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО БАССЕЙНА	34
2.1. Материалы исследования	35
2.2. Методы исследования.....	36
2.3. Характеристика химического состава подземных вод олигоценового горизонта.....	37
2.4. Пространственные закономерности изменения химического состава подземных вод	44
2.5. Факторы формирования химического состава подземных вод олигоценового горизонта.....	50
2.5.1. Физико-географические факторы.....	50
2.5.2. Геолого-гидродинамические факторы.....	52
2.5.3. Минеральный состав водовмещающих пород и гидрогеохимические процессы взаимодействия	53

2.5.4. Техногенный фактор.....	61
2.5.5. Литологический состав водовмещающих пород.....	67
2.5.5.1. Исходные данные.....	69
2.5.5.2. Методы исследования.....	70
2.5.5.3. Результаты исследования.....	73
2.6. Выводы.....	85
3. МЕТОДИКА ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВОДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД.....	87
3.1. Материалы исследования.....	90
3.2. Методы исследования.....	92
3.2.1. Интерпретация кривых гамма-каротажа.....	92
3.2.2. Исследование связи геофизической характеристики с характеристиками фильтрационных свойств пород по данным лабораторных определений.....	97
3.2.3. Исследование связи геофизической характеристики с характеристиками фильтрационных свойств пород по данным гидродинамических испытаний скважин.....	100
3.3. Результаты исследования.....	102
3.3.1. Результаты исследования связи геофизической характеристики с характеристиками фильтрационных свойств пород по данным лабораторных определений.....	102
3.3.2. Результаты исследования связи двойного разностного параметра естественной радиоактивности и показателей, полученных по данным гидродинамических испытаний скважин.....	108
3.4. Выводы.....	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	122
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	124
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	125
СПИСОК РИСУНКОВ.....	148
СПИСОК ТАБЛИЦ.....	150

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования

Олигоценый водоносный горизонт на территории западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна является основным источником централизованного водоснабжения населения и объектов промышленности. Подземные воды используются здесь для обеспечения городов Ханты-Мансийск, Нягань, Урай, Югорск, Советский, мелких населенных пунктов и объектов инфраструктуры, а также в качестве агента заводнения нефтяных залежей в системе поддержания пластового давления на разрабатываемых месторождениях.

Интенсивная эксплуатация водоносного горизонта в условиях техногенного воздействия создаёт риск загрязнения подземных вод и вызывает нарушение естественного гидродинамического режима, что может приводить к негативным последствиям экологического характера и снижению качества жизненно важного природного ресурса.

Растущая потребность в обеспечении водой объектов на новых участках и необходимость устойчивого развития региона определяют актуальность изучения закономерностей гидрогеохимических процессов, происходящих в сложной природно-техногенной системе, а также необходимость совершенствования существующих и разработки новых методик оценки фильтрационных свойств водовмещающих пород горизонта для построения достоверных прогнозов параметров эксплуатации будущих водозаборов.

Степень разработанности темы

Закономерности и факторы формирования химического состава подземных вод, его трансформация под воздействием различных факторов являлась предметом исследований ряда ведущих российских ученых: В.И. Вернадского, Г.Н. Каменского, Н.К. Игнатовича, Ф.И. Бочевера, А.Е. Орадовской, В.М. Гольдберга, Ф.И. Тютюновой, С.Р. Крайнова, А.В. Кудельского,

Е.В. Посохова, С.Р. Крайнова, В.М. Швеца, В.П. Зверева, С.Л. Шварцева, А.А. Карцева, Е.В. Пиннекера, Б.И. Писарского и др.

Геохимия и особенности взаимодействия в системе вода-порода представлены широким кругом публикаций Н.А. Харитоновой, Р.Ф. Абдрахманова, В.Г. Попова и др.

Вопросам гидрогеохимии пресных подземных вод Западно-Сибирского мегабассейна (ЗСМБ) посвящены работы С.Л. Шварцева, Н.Г. Шубенина, А.В. Трофимова, Н.С. Трофимовой, И.М. Земсковой, Ю.К. Смоленцева, В.А. Бешенцева, В.М. Матусевича, О.Г. Савичева, О.А. Камневой, О.А. Лепокуровой, Л.А. Ковяткиной, Т.В. Семеновой, М.В. Вашуриной, Р.Н. Абдрашитовой, Ю.В. Беспаловой, Г.В. Торопова и др.

В результате проведенных ранее исследований были сформированы ключевые знания о закономерностях, факторах и условиях формирования подземных вод Западной Сибири, а также о геохимии отдельных элементов их состава. Однако, на территории западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна подробное изучение гидрогеохимического режима олигоценового горизонта до сих пор не проводилось, а научное обобщение современных данных мониторинга подземных вод осуществлялось фрагментарно.

Фильтрационные свойства осадочных пород Западной Сибири исследовались в ходе геологоразведочных работ на отдельных участках месторождений. В результате систематизации данных лабораторных анализов пород, проведенных ЗапСибНИГНИ Главтюменьгеологии (П.А. Новосельцев, 1986) разработана детализированная классификация терригенных пород без жестких связей в зависимости от величины их глинистости, наиболее эффективная в применении составу пород олигоценового горизонта.

Рядом исследователей гидродинамического режима водоносных горизонтов (С.Н. Тагильцев, В.С. Тагильцев, А.А. Куриченко, С.В. Сурганов, В.И. Козырев и др.) для разреза олигоцен-четвертичной толщи обоснована геофильтрационная модель с перетеканием.

Поисково-разведочные работы на углеводороды, начатые на территории исследования в 50-60-е годы прошлого столетия и продолжающиеся в настоящее время, создают условия для накопления значительного объема геофизического каротажа скважин различного назначения, особенно нефтяного разведочного бурения.

Методика оценки коллекторских свойств нефтяных пластов и глубоких горизонтов подземных вод с применением геофизических исследований широко известна и успешно применяется при подсчете запасов, проектировании и контроле процессов разработки месторождений.

Теоретические основы применения скважинной геофизики для данных целей обоснованы в работах Б.Ю. Вендельштейна, С.С. Итенберга, С.Г. Комарова, В.Н. Коскова, Б.В. Коскова и др.

В отношении олигоценового горизонта, методика применения геофизического каротажа для характеристики фильтрационных свойств пород ранее не была обоснована из-за недостатка или разрозненности исходных данных.

В сложившейся практике геофизический картаж скважин, включающий в основном гамма-метод, используется только для литологического анализа разреза, без сопоставления результатов его интерпретации с данными гидродинамических испытаний скважин и лабораторных исследований водно-физических свойств пород.

Цель работы

Целью работы является установление закономерностей гидрогеохимического режима олигоценового горизонта в западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна в условиях активного техногенного воздействия, а также обоснование методики прогнозной оценки фильтрационных параметров горизонта с использованием результатов гамма-каротажа в скважинах.

Основные задачи исследования

1. На основе комплексного анализа данных лабораторных исследований дать характеристику химического состава подземных вод олигоценового горизонта, установить и проанализировать пространственные и временные гидрогеохимические закономерности.

2. Определить и изучить условия и факторы формирования выявленных закономерностей с выделением особенностей, присущих природным условиям и последствиям техногенного влияния.

3. На основе статистического анализа взаимосвязи результатов лабораторных исследований образцов пород, интерпретации материалов гидродинамических испытаний с данными гамма-каротажа в скважинах разработать методику прогнозной оценки фильтрационных параметров. С использованием обоснованных зависимостей определить наиболее перспективные интервалы для эксплуатации олигоценового горизонта в Шаимском НГР.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования является олигоценовый водоносный горизонт отложений куртамышской и атлым-новомихайловской свит на территории западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна Западно-Сибирского мегабассейна.

Предметом исследования являются химический состав подземных вод и фильтрационные свойства водовмещающих пород горизонта.

Научная новизна исследования

1. На основе данных лабораторных анализов за последние 20 лет для территории западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна детально охарактеризован химический состав подземных вод олигоценового горизонта с выделением особенностей, присущих природным условиям и последствиям техногенного влияния. Выявлена связь между величиной водоотбора из скважин и минерализацией подземных вод, продемонстрировано

изменение ионно-солевого состава вод во времени в районах эксплуатируемых водозаборов.

2. Выявлена зависимость минерализации подземных вод от глубины залегания интервалов опробования водоносного горизонта и особенностей его гидродинамического режима; между содержанием минералов группы магнетит-ильменит в тяжелой фракции песков и содержанием общего железа в подземных водах; содержанием полевых шпатов в легкой фракции песков и содержанием в подземных водах ионов калия, натрия и кремния; между показателями литологического состава пород (песчаными и глинистыми отложениями), залегающими, как выше фильтров водозаборных скважин, так и подстилающих водоносный пласт снизу, и содержанием ионов натрия и калия, а также минерализацией.

3. Впервые для олигоценового водоносного горизонта разработана методика прогнозной оценки фильтрационных свойств пород, основанная на применении аналитических зависимостей медианного диаметра частиц, коэффициента фильтрации, водопроницаемости водовмещающих пород и удельного дебита водозаборных скважин от двойного разностного параметра естественной радиоактивности, на основе чего впервые построены карты перспективных интервалов эксплуатации в Шаимском нефтегазоносном районе.

Теоретическая и практическая значимость

1. Обобщение большого объема гидрогеохимической информации позволило детализировать закономерности и выявить определяющие факторы пространственно-временной изменчивости химического состава подземных вод.

2. Комплексный анализ данных (интерпретация гамма-каротажа, лабораторные исследования образцов пород, гидродинамические испытания водозаборных скважин) позволил обосновать методику для оценки фильтрационных свойств водовмещающих пород олигоценового горизонта с использованием гамма-каротажа.

3. Разработанный комплект картографических и аналитических материалов (карты химического состава вод, зависимости фильтрационных параметров по данным гамма-каротажа, карта перспективных интервалов) позволяет прогнозировать эксплуатационные характеристики олигоценового горизонта для целей водоснабжения на новых участках.

4. Систематизированная гидрогеохимическая информация использована автором при оценке запасов подземных вод олигоценового горизонта в целях хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения. Выявленные особенности химического состава, отражающие как природно-обусловленные процессы формирования, так и последствия техногенного воздействия, принимаются во внимание при интерпретации данных мониторинга месторождений подземных вод на территории исследования.

Региональная выдержанность объекта исследования обуславливает широкую применимость полученных научных результатов. Они представляют практическую ценность для решения задач питьевого и технического водоснабжения на основе подземных вод не только в пределах изученной территории, но и на аналогичных территориях в Западной Сибири.

Исходный материал для исследования

Диссертационная работа базируется на результатах лабораторных анализов 1730 проб подземных вод 419 водозаборных скважин олигоценового водоносного горизонта из специально созданной базы данных, которые получены в процессе проведения исследовательских работ за период 2013-2024 гг. в Шаимском, Красноленинском, Восточно-Уральском, Березовском, Сергинском, Ляминском, Карабашском, Уватском, Приобском нефтегазоносным районам.

Для изучения взаимосвязи двойного разностного параметра естественной радиоактивности и фильтрационных свойств пород использованы данные гамма-каротажа 55 водозаборных и 131 нефтяной разведочной скважины, гидродинамических испытаний 62 водозаборных скважин, лабораторного определения гранулометрического состава 160 проб пород, результатов

104 лабораторного определения коэффициента фильтрации водовмещающих пород олигоценного горизонта, полученные из фондовых геологических отчетов, прошедших государственную экспертизу.

Методология и методы исследования

Методы исследования закономерностей химического состава подземных вод включали сбор, первичную обработку и систематизацию лабораторных данных, визуализацию выявленных закономерностей в виде диаграмм и карт, интерпретацию результатов и анализ влияющих факторов. Более подробно методы исследования приведены в разделе 2.2 диссертации.

Разработка методики прогнозной оценки фильтрационных параметров включала: получение численных характеристик пород водоносного горизонта на основе интерпретации данных гамма-каротажа, лабораторных исследований водно-физических свойств пород и гидродинамических испытаний скважин; корреляцию значений полученных параметров, оценку ее статистической значимости, прогноз фильтрационных параметров на основании уравнений регрессии. Более подробно методы исследования приведены в разделе 3.2 диссертации. Апробация методики представлена в виде карты перспективных интервалов эксплуатации водоносного горизонта.

Обработка и анализ гидрогеохимической информации проводились с использованием программ Microsoft Excel и Statistica. Интерпретация данных гамма-каротажа выполнена в среде Solver, а картографическое построение – в программном комплексе GST.

Положения, выносимые на защиту

1. В пределах западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна для подземных вод олигоценного горизонта установлена стабильная субширотная зональность минерализации, концентраций натрия в сумме с калием, гидрокарбонатов, общего железа, марганца и кремния, отражающая природные условия формирования. Определено, что ведущим техногенным

фактором, вызывающим локальные изменения минерализации и ионно-солевого состава вод, является интенсивная эксплуатация водозаборов.

2. Обоснованы зависимости химического состава подземных вод олигоценового горизонта от литологии водовмещающих отложений: относительное содержание ионов натрия, калия и хлора определяется степенью контакта с глинами тавдинской свиты, а минерализация – соотношением мощностей глинистых и песчаных прослоев в перекрывающей эксплуатируемый интервал толще.

3. Разработана и апробирована методика прогнозной оценки фильтрационных свойств пород по данным гамма-каротажа, обеспечивающая достаточно объективную гидрогеологическую характеристику олигоценового горизонта на ранних стадиях и снижающая затраты за счёт сокращения объёма гидродинамических испытаний.

Личный вклад автора

Работа является итогом многолетнего изучения гидрогеохимических особенностей подземных вод и фильтрационных характеристик пород олигоценового водоносного горизонта и базируется на материалах, полученных в ходе научно-исследовательских и договорных работ по темам, в которых автор принимала непосредственное участие в период 2007-2024 гг.

В рамках исследовательской деятельности по теме диссертации автором лично собран, проанализирован, обобщен и интерпретирован материал гамма-каротажа водозаборных и нефтяных разведочных скважин, данные лабораторных исследований гранулометрического состава, водно-физических свойств пород, химического состава подземных вод. На основании компиляции изданных листов геологических карт и накопленной базы по скважинам различного назначения автором составлены схематические геолого-гидрогеологическая карта и разрезы по району исследования, карты показателей химического состава подземных вод, существующих и перспективных продуктивных интервалов эксплуатации олигоценового горизонта.

Степень достоверности и апробация результатов

Гидрогеохимические данные получены путем сбора и систематизации результатов лабораторных исследований проб воды, выполненных аккредитованными лабораториями физико-химических методов исследований ООО "ЦНИПР" ЛФХИ г. Урай (RA.RU.518506), ИНГГ СО РАН (RA.RU.21АЖ28), ООО «Тюменская центральная лаборатория» (ААС.А.00101), ФБУЗ "ЦГиЭ в ХМАО-Югре"(РОСС RU.0001.510428), ФБУЗ «ЦГиЭ в Тюменской области» (РОСС RU.0001.510119), ООО «Геохим» (РОСС RU.0001.515828), Лаборатория промышленной санитарии и экологического мониторинга (РОСС RU.0001.514858) и др. Погрешности лабораторных определений не превышают значений, установленных нормативными документами и требованиями области аккредитации лабораторий.

Данные по лабораторному определению водно-физических свойств пород, геофизического каротажа и гидродинамических испытаний водозаборных скважин на Ханты-Мансийском, Октябрьском и Советском МППВ приведены в фондовых отчетах по оценке запасов данных месторождений, прошедших государственную экспертизу запасов (Протокол ТКЗ Главтюменьгеологии №8/89 от 28.12.89 г., №9/88 от 30.12.88 г. и ТКЗ при ЗапСиб РГЦ №1/97 от 09.04.97 г. Материалы геофизического каротажа нефтяных разведочных водозаборных скважин Шаимского НГР в виде *.las файлов находятся на хранении в фондах геологической информации.

Достоверность проведенного диссертационного исследования подтверждается:

- надежностью используемых аналитических данных по химическому составу подземных вод, полученных в аккредитованных лабораториях;
- использованием результатов водно-физических свойств пород, гидродинамических испытаний водозаборных скважин, геофизического каротажа, прошедшим апробацию экспертизой геологической информации;
- применением современных методов обработки и интерпретации гидрогеохимической и геофизической информации;

- согласованностью полученных результатов с опубликованными по теме исследования работами.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на IV Научно-практической конференции по нефтяной гидрогеологии, геохимии и гидродинамическому моделированию «Practice GeoChemistry 2025», XXIV Совещании по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием (г. Екатеринбург, 2024 г.), Международной научно-практической конференции «Научная территория: технологии и инновации» (г. Тюмень, 2022 г.).

Публикации

Основные результаты изложены в 24 публикациях. За последние пять лет 6 работ опубликовано в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, и 1 работа в журнале, индексируемом в международной базе цитирования Scopus.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка источников, включающего 160 наименований. Объем диссертации составляет 152 страницы текста, включая 44 рисунка и 27 таблиц.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Направления исследования соответствует паспорту научной специальности 1.6.6. «Гидрогеология» и включают изучение следующих пунктов:

3. Условия и процессы формирования вещественного состава подземных вод (химического, газового, изотопного, бактериального).

6. Исследование природно-технических систем, связанных с подземными водами.

10. Методы поисков, разведки, оценки и рациональной эксплуатации месторождений пресных подземных вод.

Благодарности

Работа выполнена под руководством доктора технических наук, профессора кафедры геологии месторождений нефти и газа Нефтегазового института ФГБОУ ВО ТИУ, директора ЗСФ ФГБУН ИНГГ СО РАН А.Г. Плавника. Автор выражает глубокую благодарность своему руководителю за ценные советы, методическое руководство и рекомендации в процессе выполнения работы.

Искреннюю признательность автор выражает старшему преподавателю ФГБОУ УВО ТИУ Л.А. Ковяткиной за методическую помощь и всестороннюю поддержку, формирование научных интересов и профессиональных навыков.

Большую ценность для автора представляет плодотворное сотрудничество, методическое руководство, мотивация и соавторство в научных публикациях с заведующей лабораторией гидрогеологии и геотермии ЗСФ ИНГГ СО РАН к.г.-м.н. М.В. Вашуриной.

Автор признательна коллеге А.Л. Храмцовой за большую помощь в сборе и систематизации фактического материала по гидрогеохимии, определении гидрогеологических параметров по данным гидродинамических испытаний скважин и соавторство в подготовке научных публикаций.

Автор благодарна доценту ФГБОУ УВО ТИУ к.г.- м.н. Р.Н. Абдрашитовой за методическое руководство и ценный опыт при подготовке научной публикации в международном издании.

Автор выражает искреннюю благодарность своим близким за неизменную поддержку, понимание и терпение, проявленные в период работы над диссертацией

1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОЛИГОЦЕНОВОГО ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА

1.1. Состояние изученности геолого-гидрогеологических условий и химического состава подземных вод олигоценового горизонта на территории исследования

Систематическое изучение горизонтов пресных подземных вод в районе исследования началось в 50-60-е годы прошлого столетия и было обусловлено необходимостью организации водоснабжения объектов инфраструктуры нефтяных месторождений и сопутствующих населенных пунктов, а также для обеспечения бурения глубоких нефтяных скважин. С этого времени Тюменским СУ Новосибирского треста «Востокбурвод» пробурено большое число гидрогеологических скважин, по результатам которого установлено, что наибольший практический интерес для водоснабжения представляют континентальные отложения верхнего палеогена (олигоцена) атлым-новомихайловской и куртамышской свит.

В одной из первых работ М. С. Гуревича (1952 г), основанной на материалах опорного и поисково-разведочного бурения, дано описание подземных вод отдельных стратиграфических толщ разреза Западно-Сибирского мегабассейна и приводятся первые основные закономерности изменения состава подземных вод и газов по площади и разрезу его южной половины [41].

В работе Ю.К. Смоленцева (1965 г), его докторской диссертации и публикациях [111, 112, 113], а также в геологическом отчете коллектива ЗапСибНИГНИ «Подземные воды кайнозойских отложений Западно-Сибирского артезианского бассейна в пределах Тюменской, Томской и северных районов Новосибирской и Омской областей» (1967-68 гг.) [157] дана общая характеристика гидрогеологических условий Западной Сибири, и в частности, приведены гидрогеохимические карты отдельных показателей химического состава пресных подземных вод региона на дату проведения исследований.

Вопросам геологии кайнозоя Западной Сибири посветил множество работ П.П. Генералов [27, 151], под руководством которого, коллективом ЗапСибНИГНИ в 1976 г. составлена карта литолого-стратиграфических комплексов олигоцен-четвертичных отложений Тюменской области масштаба 1:1 000 000.

Детализация границ распространения куртамышской и атлым-новомихайловской свит олигоцена, сведения об их вещественном составе в районе исследования основана на результатах геолого-съёмочных работ масштаба 1:200 000, проведенных Тюменской ТКГРЭ: Сосьвинской (И.И. Смирнов и др., 1989), Ханты-Мансийской (И.Л. Зайонц и др., 1984) и Тюменской (Ю.П. Черепанов и др., 1983) партиями [148, 149, 147].

В 1984 г. на основании систематизации и обобщения фактического материала И.М. Земсковой и Ю.К. Смоленцевым в коллективе соавторов выполнена региональная оценка эксплуатационных запасов подземных вод [153], включающая, в том числе, построение гидрогеохимических карт исследуемой территории. Результаты данной работы опубликованы в работе «Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна» [47].

Большой вклад в геолого-гидрогеологическую изученность олигоценового горизонта внесли, не имеющие современных аналогов, разведочные работы для организации централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения п. Советский, п. Октябрьское, г. Ханты-Мансийск ТКГРЭ и ПКГРЭ, УГЭ в 1988-95 гг., в ходе которых проведено бурение гидрогеологических скважин с отбором и лабораторными исследованиями пород, выполнением комплекса геофизических исследований, гидрогеологическим опробованием [158, 152, 160].

В 1998-2001 гг. ГИДЭК по результатам обобщения обширного фактического материала и опыта разведки и эксплуатации пресных подземных вод для оценки обеспеченности населения ХМАО ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения, составлена серия геологических карт, в

том числе, карта кровли тавдинской свиты – регионального водоупора олигоцен-четвертичному комплексу [155, 156].

В период 2005-2010 гг. коллективом авторов ФГУП «ВСЕГЕИ», ООО «Геотэкс», ФГУП «ЗапСибГеоНАЦ», ОАО «УГСЭ» (Г.А. Петров, В.В. Шалагинов, А.В. Жданов, Л.А. Зылева, Ю.П. Черепанов, Е.К. Ковригина, Е.А. Лебедева, Т.С. Сай, А.С. Воронин, В.Г. Лихотин, Г.А. Петров, К.В. Коркунов) проведены работы по обобщению геологических материалов и изданию листов Р- 41, Р-42, О-41, О-42 Государственной геологической карты РФ масштаба 1: 1 000 000 третьего поколения, в которых обозначены границы распространения и стратиграфия основных геологических подразделений кайнозойских отложений, включающих целевой олигоценовый водоносный горизонт [35, 36, 37, 38].

Научное обоснование схематизации разреза олигоцен-четвертичной толщи как сложной слоистой системы с проявлением процессов перетекания в условиях эксплуатации водозаборных скважин, обобщение значений гидродинамических параметров олигоценового горизонта по данным обработки опытно-фильтрационных работ в нефтегазодобывающих районах Западной Сибири приведено в научных работах С.Н. Тагильцева [115], В.С. Тагильцева [114], В.И. Козырева [62].

В период 2014-2016 гг. в рамках ведомственной целевой программы развития и использования минерально-сырьевой базы Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (ХМАО–Югры) на 2011-2013 годы ЗСФ ИНГГ СО РАН на муниципальных водозаборах проведены гидрогеологические работы по изучению качества подземных вод для питьевого водоснабжения населения [150, 70].

С начала 2000-х годов подземные воды олигоценового горизонта в районе исследования используются более чем на 260 водозаборах для нужд питьевого, и технического водоснабжения. Данные мониторинга являются ценным источником актуальной информации о химическом составе подземных вод, однако их

обобщение и анализ пространственно-временных закономерностей ранее проводились фрагментарно [17, 24].

1.2. Условия формирования подземных вод района исследований

1.2.1. Физико-географические условия

Район исследования площадью 115,1 тыс. км² расположен в западной части Западно-Сибирской равнины (Рисунок 1.1). Северная часть территории находится в зоне возвышенностей, относящихся к Сибирским увалам (Северо-Сосьвинская, Люлимвор и Белогорский материк) с отметками поверхности 101-227 абс. м, небольшая часть на крайнем востоке – в зоне возвышенности Тобольский материк с отметками 82-100 абс. м, вся остальная площадь относится к Кондинской и Среднеобской низменностям с отметками рельефа 22-88 абс. м.

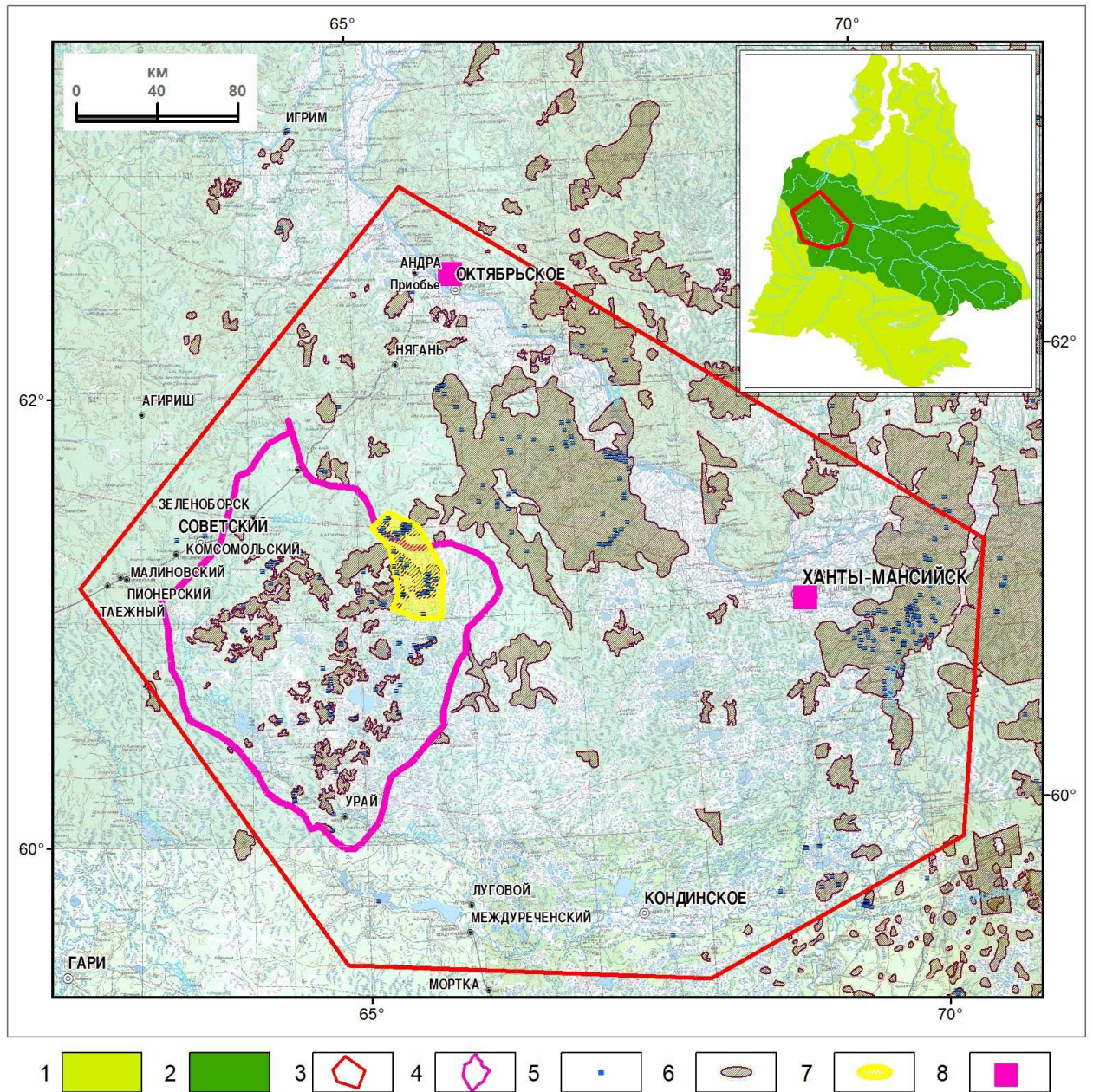
Рельеф, сформированный под влиянием четвертичных оледенений, эрозионного-денудационных процессов и заболачивания представляет собой холмисто-увалистую с эрозионным расчленением и пологоволнистую плоскую равнину, в низменностях сильно заболоченную и заозёрную.

Для возвышенностей характерны массивы хвойных лесов и тайги, подзолисто-глееватые почвы. В низменностях наиболее типичными ландшафтами являются обширные безлесные торфяники, сочетающиеся с сосновыми рьями, а также болота, на которые приходится до 80 % площади, дерново-сильноподзолистые и подзолисто-болотные почвы¹.

Климат района резко континентальный с суровой продолжительной зимой и коротким, сравнительно теплым летом. По данным метеостанции Шаим² среднегодовая температура воздуха составляет +0,8°С, при годовой амплитуде 36 С.

¹https://ecosystema.ru/08nature/world/geoussr/2_2_3.html#2_2_3_5

² <http://www.pogodaiklimat.ru/>



1 – ЗСМБ; 2 – Среднеобский гидрогеологический бассейн; 3 – район исследования; 4 – Шаймский НГР; 5 – водозаборный участок; 6 – месторождение углеводородов; 7 – участок наблюдения за техногенным влиянием; 8 – участок изучения водно-физических свойств пород олигоценного горизонта

Рисунок 1.1 – Обзорная карта района исследования

Количество выпадающих за год осадков за безморозный период (534 мм) почти вдвое превышает их испарение за это время, на основании чего, территория относится к гумидной зоне.

По данным геолого-съёмочных работ, проведенных в пределах района работ [148] известно, что воды атмосферных осадков ультрапресные, с величиной

минерализации до 0,04 г/дм³, гидрокарбонатно-хлоридные натриево-кальциевые, очень мягкие, по реакции среды нейтральные (рН 6,2-6,5).

Гидрографическая сеть района исследования относится к бассейнам р. Оби, и ее притоков Конды, Иртыша и Северной Сосьвы, характеризуется высокой густотой (0,2 км/км²) и незначительной глубиной вреза.

Поверхностные воды ультрапресные, реже пресные, с величиной минерализации 0,01-0,19 г/дм³, по химическому составу гидрокарбонатные натриево-кальциевые, по реакции среды – от нейтральных до слабощелочных (рН 6,7-7,4), по величине общей жесткости очень мягкие и мягкие[148].

1.2.2. Геологические и гидродинамические условия

В тектоническом отношении район исследования расположен в западной части Западно-Сибирской плиты (геосинеклизы), в относительной близости ее сочленения с Уральским орогеном.

Складчатый фундамент плиты, сложенный породами доюрского возраста и пологозалегающие на нем платформенные отложения мезозоя и кайнозоя, погружаются от оконтуривающих плиту с запада, юга и востока складчатых сооружений к ее центральным частям. Преобладающее число тектонических структур осадочного чехла различных порядков имеет унаследованный, постепенно затухающий вверх по разрезу характер развития.

Геодинамическая модель развития плиты (по В.М. Матусевичу) [77, 78] обусловила формирование надпорядковой гидрогеологической структуры – Западно-Сибирского гидрогеологического мегабассейна пластовых безнапорных и напорных вод, состоящего из трех самостоятельных наложенных друг на друга гидрогеологических бассейнов – структур I порядка: палеозойского (PZ), мезозойского (MZ) и кайнозойского (KZ). Верхний кайнозойский гидрогеологический бассейн включает два гидрогеологических комплекса: первый – олигоцен-четвертичных и второй – турон-олигоценых отложений.

Первый объединяет песчано-алевритовые и глинистые отложения, в гидродинамическом отношении он представляет единую водонасыщенную толщу, грунтовые и межпластовые воды которой тесно гидравлически связаны между собой [33], второй – является региональным водоупором на большей части территории ЗСМБ.

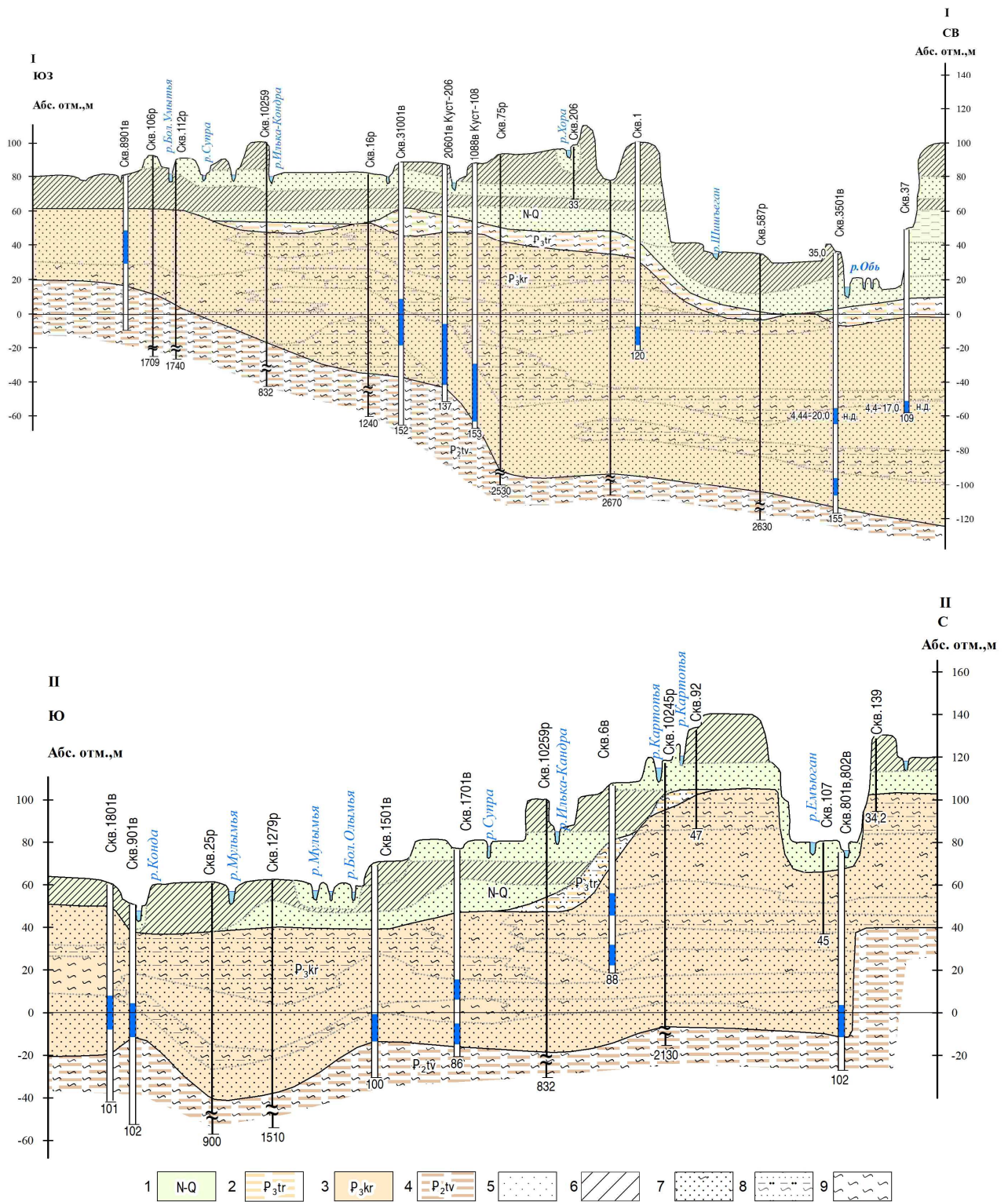
Ведущие элементы неотектоники Западно-Сибирской плиты, сформировавшие системы бассейнов рек Оби и Иртыша и поднятия в районе Сибирских увалов явились основой для формирования гидрогеологической структуры II порядка – Среднеобского бассейна подземного стока зоны активного водообмена [78], включающего водоносные неоген-четвертичный и олигоценый горизонты, а также региональные водоупорные тавдинский и ирбитский горизонты.

На основе существующих представлений о гидрогеологических структурах ЗСМБ, автором дано краткое наименование территории исследований как западная часть Среднеобского гидрогеологического бассейна.

На основании материалов государственной гидрогеологической карты масштаба 1: 1 000 000 третьего поколения, региональных стратиграфических схем неогеновых и палеогеновых отложений [159] и, исходя из гидрогеологической схематизации разреза доплиоценовых отложений, принятой при работах по оценке запасов подземных вод на территории района, автором составлены схематическая гидрогеологическая карта района и схематические гидрогеологические разрезы по характерным направлениям (Рисунок 1.2), (Рисунок 1.3).

Водоносный неоген-четвертичный горизонт (N-Q)

В пределах района работ водоносные горизонты, формирующиеся в разновозрастных неогеновых и четвертичных осадках (озерно-болотные, аллювиальные, озерно-аллювиальные, флювиогляциальные, ледниковые и озерно-ледниковые отложения), включены в единый водоносный горизонт ввиду того, что



1 – водоносный неоген-четвертичный горизонт; 2 – водоупорный, локально-слабоводоносный туртасский горизонт; 3 – водоносный олигоценый горизонт; 4 – водоупорный тавдинский горизонт; 5 – пески; 6 – суглинки; 7 – пески глинистые; 8 – переслаивание песков, глин, алевритов; 9 – глины плотные

Рисунок 1.3 – Схематические гидрогеологические разрезы района

характеризуются близостью условий залегания, транзита и разгрузки, а также открытостью инфильтрационному питанию.

Литологический состав пород горизонта представлен торфом, супесями, суглинками, алевритами, песками и их переходными разностями с включением гравийно-галечного материала. Мощность отложений в районе работ составляет 2-85 м.

Воды горизонта безнапорные либо имеют местный напор, их водообильность неравномерна и зависит от литологического состава водовмещающих пород эксплуатируемого интервала. Коэффициент фильтрации водовмещающих отложения изменяется в пределах 0,1-11 м/сут. Дебиты родников составляют 0,02-0,5 дм³/с, дебиты скважин – 4,5-12 дм³/с, удельные дебиты – 0,17-0,9 дм³/(с × м).

По химическому составу воды пресные с минерализацией 0,1-0,3 г/дм³, гидрокарбонатные со смешанным катионным составом.

Подземные воды горизонта используются для водоснабжения небольших населенных пунктов и предприятий и являются источником восполнения запасов олигоценового водоносного горизонта. Верхняя часть водоносного горизонта, испытывая максимальную техногенную нагрузку, играет роль своеобразного защитного “буферного” горизонта по отношению к нижезалегающему водоносному олигоценовому горизонту.

Водоупорный, локально-слабоводоносный туртасский горизонт (P₃ tr)

Горизонт локально распространен в центральной части района, практически повсеместно в северной, южной и восточной частях района (Рисунок 1.2). Озерно-аллювиальные отложения представлены алевритами и алевритистыми глинами с прослоями мелко- и тонкозернистых песков.

Глубина залегания кровли горизонта изменяется от 10 до 70 м, общая мощность составляет 6-48 м.

Водоносный олигоценовый горизонт (P₃kr, P₃at+nm)

Водоносный горизонт приурочен к отложениям стратиграфических аналогов – куртамышской и атлым-новомихайловской свитам, распространен на большей части территории района работ (выклинивается в западной и северо-

западной части), представляет собой сложно построенную толщу чередующихся песчано-алеврито-глинистых аллювиальных и озерно-аллювиальных отложений.

Верхняя часть горизонта представлена переслаиванием песков мелко- и среднезернистых с выдержанными прослоями слабовлажных алевритов глинистых и глин. Нижняя часть сложена преимущественно песками мелко- и среднезернистыми с редкими прослоями алевритов.

Глубина кровли горизонта изменяется от 10 до 126 м, общая мощность составляет от 40 до 206 м, эффективная мощность (песчаных пластов) – 11-108 м.

Глубина уровня подземных вод горизонта изменятся в зависимости от абсолютных отметок рельефа местности от первых метров до 80 м. В зависимости от качества оборудования водоприемной части дебиты скважин составляют от 0,15 до 37,17 $\text{дм}^3/\text{с}$, удельные дебиты – 0,01-3,84 $\text{дм}^3/(\text{с} \times \text{м})$. Воды горизонта напорные, высота напора над кровлей достигает 2-160 м.

Питание подземных вод горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, а также за счет перетекания из вышележащего неоген-четвертичного горизонта.

Водоносный горизонт характеризуется высокими фильтрационными свойствами, постоянством гидродинамических параметров и значительными емкостными запасами, эксплуатируется многочисленными скважинами и, как и на территории всей Западной Сибири, является основным объектом для организации крупного централизованного водоснабжения населенных пунктов. Ввиду отсутствия в районе исследования других источников и относительной простоты организации водоснабжения, активно используется в последнее время для целей ППД.

Формирование литолого-фациального состава водовмещающих пород горизонта обусловлено следующими условиями его осадконакопления.

На рубеже эоцена и олигоцена оживление тектонической активности привело к энергичному поднятию Западно-Сибирской плиты, вызвавшее уход Чеганского моря за пределы ее территории, установлению устойчивого

континентального режима и размыву кор выветривания на Урале, к восточному склону которого приурочены месторождения железных и марганцевых руд.

Рельеф бывшего дна моря способствовал формированию сложных озерно-речных систем. Аллювиально-озерная равнина в атлымское время была усеяна озерами, бессточными озерно-болотными водоемами и слабо эродирующими реками.

В новомихайловское время заболачивание усилилось, увеличилась площадь мелководных озер, затухла речная эрозия [75, 93]. В таких условиях накапливалась мощная толща пород терригенной лигнитоносной формации. Тектонические движения были неравномерными во времени и пространстве, что обусловило формирование различных генетических типов отложений, изменение их мощностей и литологического состава [5]. Весь последующий период геологического времени осадконакопление происходило в условиях континентального режима, аккумулятивных озерно-аллювиальных равнин в низменностях и денудационных равнин на возвышенностях, что обусловило близость литолого-минерального состава всей толщи кайнозойских отложений (Рисунок 1.4) [126]).

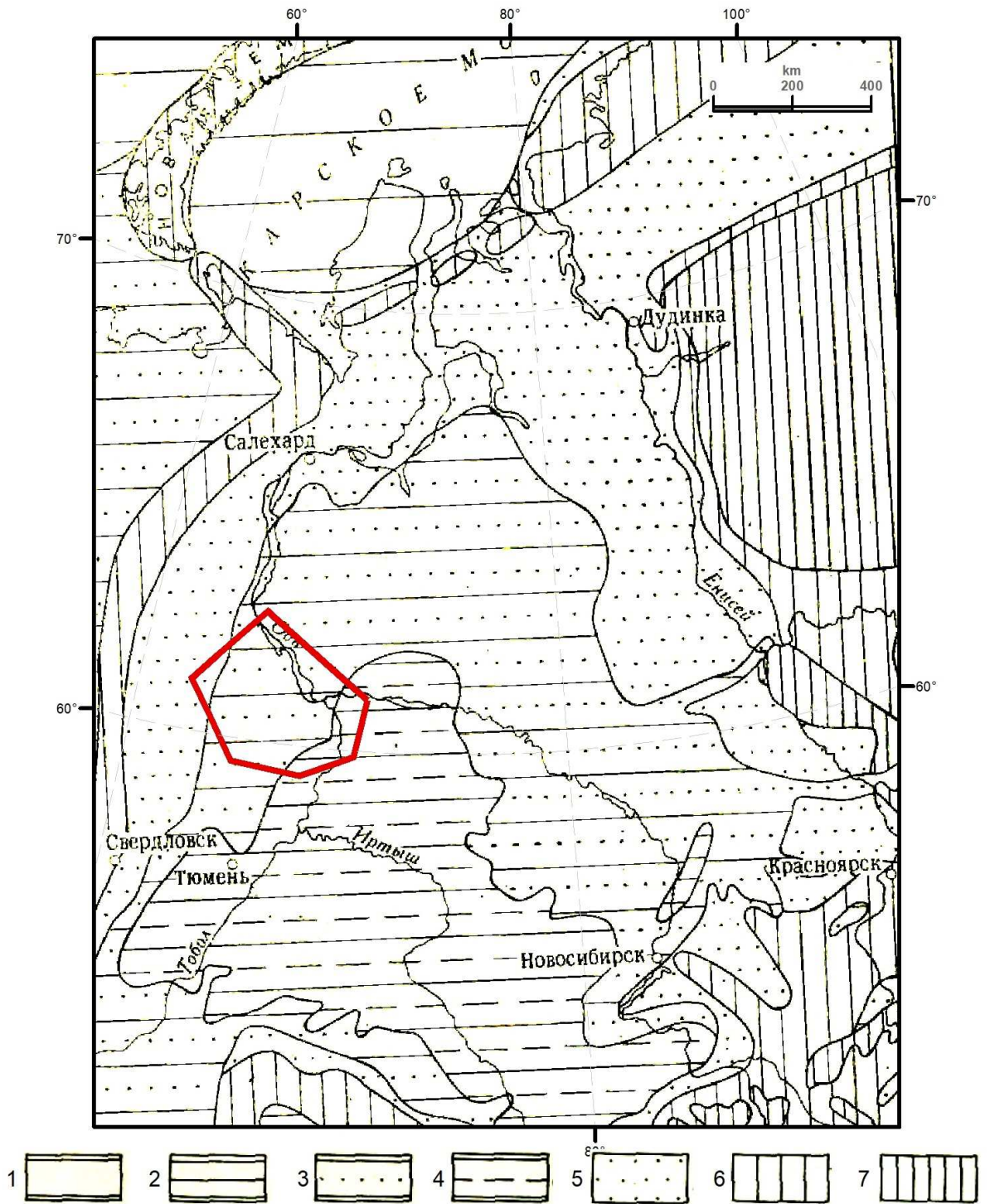
Водоупорный тавдинский горизонт ($P_2 tv$)

Горизонт подстилается отложениями ирбитской свиты и является региональным водоупором для горизонтов олигоцен-четвертичных отложений. Литологически горизонт представлен плотными глинами зеленовато-серого и голубовато-серого цвета, сформировавшимися в морском бассейне седиментации (Рисунок 1.5).

Абсолютные отметки кровли горизонта составляют от +100 м до минус 220 м, глубина залегания кровли составляет 60-252 м, мощность – около 60 м (Рисунок 1.6).

Водоупорный ирбитский горизонт ($P_2 ir$)

Горизонт подстилается отложениями серовской свиты и является региональным водоупором для горизонтов олигоцен-четвертичных отложений в местах выклинивания тавдинской свиты.



1 – море, мелкая часть шельфа; 2 – равнина низменная, прибрежная, временами заливаемая морем; 3 – равнина низменная, аккумулятивная, озерно-аллювиальная; 4 – равнина низменная, аккумулятивная, аллювиально-озерная; 5 – равнина аккумулятивно-денудационная; 6 – равнина – возвышенное плато; 7 – горы низкие

Рисунок 1.4 – Палеогеографическая карта Западно-Сибирской равнины.

Ранний-средний олигоцен

(по материалам д-ра геол.-мин.наук С.Б. Шацкого) [126]

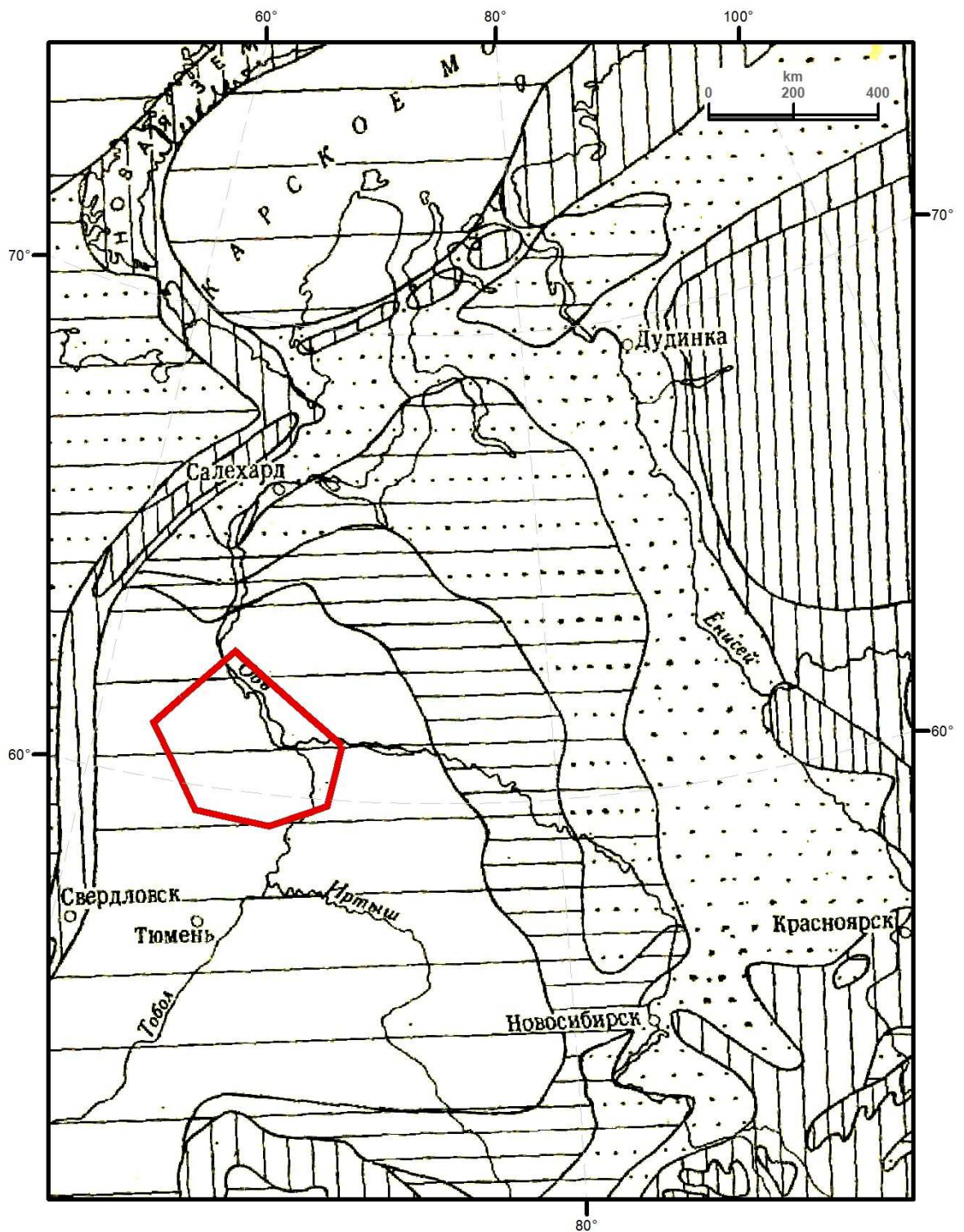
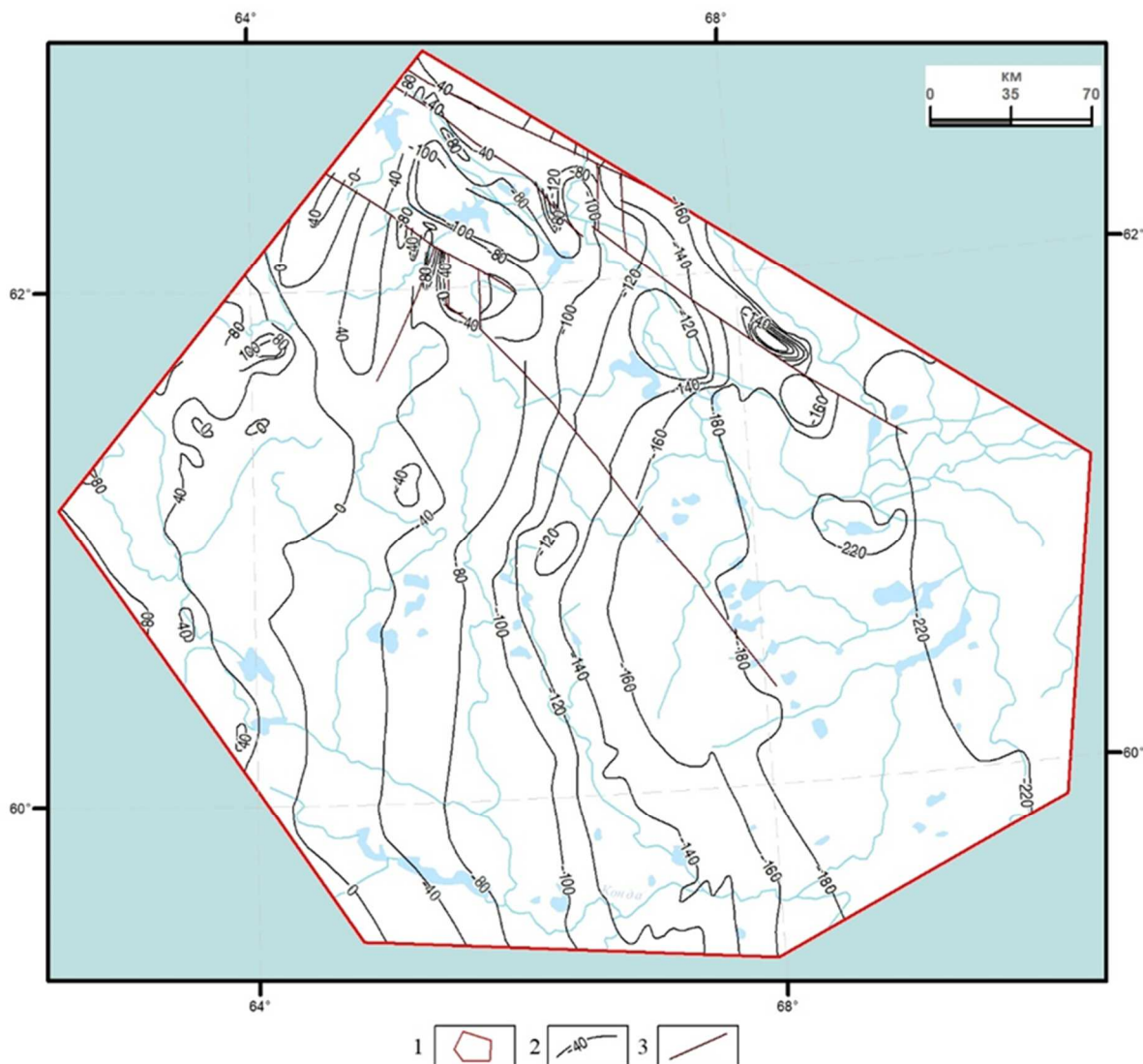


Рисунок 1.5 – Палеогеографическая карта Западно-Сибирской равнины.

Поздний эоцен

(по материалам д-ра геол.-мин. наук С.Б. Шацкого) [126])

Условные обозначения те же (Рисунок 1.4).



1 – район исследования; 2 – изогипса кровли тавдинской свиты абс.м.; 3 – разрывные нарушения

Рисунок 1.6 – Схематическая карта глубин залегания кровли водоупорного тавдинского горизонта
(по материалам АО «ГИДЭК», 2001) [155]

Литологически горизонт представлен диатомитами, трепелами, глинами диатомовыми и опоковидными, с линзами и прослоями песков.

Абсолютные отметки кровли горизонта составляют от +100 м до -220 м, глубина залегания составляет 60-186 м, мощность горизонта достигает 250 м [35-38].

1.2.3. Геокриологические условия

Согласно схеме геокриологического районирования СССР (Западная Сибирь) [44], большая часть территории исследования находится в южной геокриологической зоне, где многолетнемерзлые породы отсутствуют. Северная часть относится к центральной зоне континентального региона, для которого характерно существование двух слоев мерзлоты, не смыкающихся между собой – верхнего (современного) и нижнего (реликтового). Верхний слой представлен сезонно-мерзлыми породами (СМП), приуроченными к участкам развития лессовидных суглинков и прибровочным частям аллювиальных террас, мощностью 0,6-3 м и более.

Наличие СМП в рассматриваемом районе играет определенную роль в формировании ресурсов пресных подземных вод: в зимний период года СМП увеличивают мощность слабопроницаемых отложений, затрудняя, тем самым, процессы инфильтрации и водообмена в верхней части разреза и повышая степень защищенности олигоценового водоносного горизонта; в летний период, при оттаивании, создают дополнительное для него питание. В северной части территории развито островное распространение реликтового слоя многолетнемерзлых пород (ММП), охватывающие частично породы олигоценового горизонта.

Интервалы и границы распространения реликтовых ММП требуют актуализации. Ввиду отсутствия современных сведений, проследить роль ММП в формировании напоров, состава и минерализации пресных подземных вод не представляется возможным.

1.2.4. Техногенная обстановка

Процесс трансформации окружающей среды под воздействием различных видов человеческой деятельности (техногенез) является одним из самых актуальных предметов современных исследований. В работах крупных

отечественных гидрогеологов А.А. Карцева, Е.В. Пиннекера, С.Л. Шварцева, Ю.П. Гаттенберга и др. показано, что в результате техногенеза в гидrolитосфере формируются специфические гидрогеологические условия, характеризующиеся устойчивыми или постоянно меняющимися полями гидрогеохимических, гидродинамических, гидрогеотермических параметров, существенно отличающиеся от их природных (фоновых) значений [80].

Основным источником техногенного воздействия на гидrolитосферу в регионе является интенсивная добыча углеводородов.

На территории разрабатываемых месторождений воздействие на подземные воды оказывает хозяйственная деятельность в целом комплексе факторов: вскрытие недр при строительстве наземных и подземных инженерных объектов; подтопление территорий и загрязнение почв и грунтовых вод в результате аварий и утечек из трубопроводов и дренажных систем; поступление загрязняющих компонентов шлама и растворов в пресные воды верхних горизонтов при бурении глубоких скважин, а также перетоки подземных вод за колоннами скважин и т. п. [12, 61].

По направленности и характеру водообмена Н.И. Плотниковым [87] выделены эжекционные (изъятие вещества и тепла из литосферы), инъекционные (привнос тепла вещества в литосферу) и комплексные группы процессов, связанные с сочетанием первых двух процессов.

Изменение химического состава подземных вод под воздействием техногенной нагрузки, связанной с добычей углеводородов, рассматривалось в работах [15-25, 96, 102, 124].

Потенциальное возникновение эжекционных процессов в районе исследования связано с эксплуатацией подземных вод, в том числе и при их попутном извлечении при разработке нефтяных залежей. Инъекционные процессы проявляются при закачке вод в нефтяные пласты, а также при подземном размещении стоков.

Возникновение техногенной трансформации подземных вод олигоценового горизонта в результате эжекционных процессов обусловлено их эксплуатацией в

качестве агента заводнения в системе поддержания пластового давления (ППД) при разработке нефтяных залежей. Например, суммарный отбор пресных вод олигоценового горизонта, на участке компактно расположенных водозаборных кустов площадью 1,1 тыс. км² в Шаимском НГР (Рисунок 1.1) составляет в течение последних 8 лет от 3,2 до 5,2 тыс. м³/сут. Заводнение нефтяных пластов осуществляется, как после смешения с высокоминерализованными попутными водами нефтяных пластов, так и напрямую – по схеме внутрикустовой закачки – из водозаборной скважины – в нагнетательную скважину.

Интенсивный водоотбор на локальных участках создает условия для изменения гидродинамического режима водоносного горизонта. В результате водоотбора изменяются гидродинамические, гидрогеохимические условия в пласте, нарушаются природные равновесия, увеличивается скорость протекания различных химических реакций. Все это создает условия для трансформации химического состава подземных вод.

1.3. Выводы

На основе анализа проведённых в регионе геологических и гидрогеологических исследований можно констатировать, что они носили региональный и специализированный характер. Существующая гидрогеохимическая карта олигоценового горизонта, составленная на период фрагментарной изученности территории (1970-80-ые годы) когда наблюдения были сосредоточены лишь в районе немногочисленных населённых пунктов, не отражает современного уровня техногенного воздействия.

Анализ и обобщение современных данных мониторинга подземных вод недостаточно освещается в научных публикациях.

Систематизация сведений, основанных на материалах геофизического каротажа скважин в интервалах залегания олигоцен-четвертичных отложений, ранее не осуществлялась, методика его применения для прогноза фильтрационных свойств пород не разрабатывалась.

В настоящей работе, впервые для территории исследования комплексно обобщены сведения по геолого-гидрогеохимическим условиям олигоценного горизонта, проведено детальное исследование химического состава подземных вод и факторов его формирования на основе ретроспективных и современных данных, систематизирован и интерпретирован гамма-каротаж в интервале олигоценного горизонта. Результаты данных исследований приведены в последующих главах диссертационной работы.

Район исследования характеризуется особенностями природного характера такими как: разнообразие орографических условий, избыточное увлажнение территории, положение вблизи краевой части региональной геологической структуры, сложное строение водовмещающих пород, изменчивость гидродинамических условий, а также островное распространение многолетнемерзлых пород.

Техногенная трансформация геологической среды происходит под воздействием интенсивной нефтедобычи. К ключевым факторам относятся: вскрытие недр, закачка и изъятие пластовых флюидов, загрязнение подземных вод и их интенсивный отбор.

По совокупности характеристик, водоносный олигоценый горизонт является частью сложной природно-техногенной гидрогеологической системы [80], самоорганизующейся в условиях открытости внешним воздействиям, что создает условия для формирования особенностей и закономерностей пространственно-временного изменения химического состава его подземных вод, результаты изучения которых представлены в следующей главе.

2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОВРЕМЕННОГО ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОЛИГОЦЕНОВОГО ГОРИЗОНТА В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СРЕДНЕОБСКОГО ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО БАССЕЙНА

Изучение закономерностей и факторов формирования химического состава подземных вод, выявление путей формирования разнообразных геохимических типов подземных вод, а также прогноз изменения качества подземных вод с древнейших времен, и по настоящее время, является центральным вопросом гидрогеохимии. Выдающиеся российские ученые В.И. Вернадский (1933-1935), Г.Н. Каменский (1949), Н.К. Игнатович (1944), К.И. Маков (1946), А.Н. Бунеев (1947), Н.И. Толстихин (1953), М.С. Гуревич (1948), К.В. Филатов (1953) и др. А.Н. Бунеев (1947) заложили основы учения об ионно-солевом комплексе пород. Принципы гидрогеохимической зональности нашли отражение в работах В.И. Вернадского, Ф.А. Макаренко, Н.К. Игнатовича, В.В. Штильмарка, проблемы загрязнения подземных вод, изменения их свойств и состава при техногенном воздействии – в работах Ф.И. Бочевера, А.Е. Орадовской, В.М. Гольдберга, Ф.И. Тютюновой [48], В.Л. Злобиной [121] и др. [56]. Исследования в связи с оценкой качества питьевых вод и решения экологических задач, изучение гидрогеохимии отдельных элементов проведены С.Р. Крайновым, А.В. Кудельским, В.М. Швецом и др. Факторы и условия формирования химического состава подземных вод, а также процессы гидрогеохимического взаимодействия в системе вода-горная порода представлены работами Е.В. Посохова [92], С.Р. Крайнова [68, 69], В.М. Швеца, В.П. Зверева [46], С.Л. Шварцева [31, 127], А.А. Карцева, Е.В. Пиннекера [85], Б.И. Писарского, В.А. Кирюхина [57], а также зарубежных авторов [133, 134, 136, 138, 145].

Современные научные публикации, посвященные вопросам гидрогеохимии зоны гипергенеза в условиях урбанизированных территории и разработки месторождений полезных ископаемых Башкирии и Южного Урала представлены

работами Р.Ф. Абдрахманова и В.Г. Попова [1, 2], Татарстана – трудами Ф.А. Шарипова, Ф.А. Шарипова, Т.А. Киреевой [125], Р.Х. Мусина, З.Г. Калкамановой [82].

Генезис, геохимия отдельных элементов химического состава подземных вод термальных, минеральных вод, особенности взаимодействия вода-порода представлены широким кругом публикаций Н.А. Харитоновой [32, 123], Г.А. Челнокова [26].

Особенности формирования химического состава подземных вод в различных гидрогеологических условиях, геохимия отдельных показателей химического состава – исследованиями Н.В. Гусевой [42], О.Г. Савичева, О.А. Камневой, [106, 107], Е.С. Казак [53].

Вопросам гидрогеохимии Западно-Сибирского мегабассейна и природным условиям их формирования посвящены исследования С.Л. Шварцева [129], Н.Г. Шубенина [130, 131], Н.С. Трофимовой [117, 118], И.М. Земсковой [47], Ю.К. Смоленцева [112, 113], И.С. Ивановой [49, 50, 51], О.А. Лепокуровой [73], В.А. Бешенцева [8] и др. Обобщенные сведения по данным вопросам приведены в сводном труде «Гидрогеология СССР, том XVI, Западно-Сибирская равнина» [33].

Анализ изменения химического состава пресных подземных вод в условиях интенсивной техногенной нагрузки представлен работами В.М. Матусевича [76, 79, 80], В.А. Бешенцева [9, 10, 11, 12], Л.А. Ковяткиной [60, 61], Т.В. Семеновой [9], М.В. Вашуриной, А.Л. Храмцовой с участием автора [15-25, 96, 98, 102, 104], Р.Н. Абдрашитовой, Ю.В. Гуляевой (Беспаловой) [7, 132], Г.В. Торопова [116], В.И. Козырева [63] и др.

2.1. Материалы исследования

Исходными для исследования являются сведения о химическом составе подземных вод олигоценового горизонта, полученные в ходе прикладных работ за период 2013-2024 гг. на площади исследования, включающей Шаимский,

Красноленинский, Восточно-Уральский, Березовский, Сергинский, Ляминский, Карабашский, Уватский, Приобский нефтегазоносные районы.

Лабораторные анализы выполнены аккредитованными лабораториями физико-химических методов исследований ООО "ЦНИПР" ЛФХИ г.Урай (RA.RU.518506), ИНГГ СО РАН (RA.RU.21АЖ28), ООО «Тюменская центральная лаборатория» (ААС.А.00101), ФБУЗ "ЦГиЭ в ХМАО-Югре"(РОСС RU.0001.510428), ФБУЗ «ЦГиЭ в Тюменской области» (РОСС RU.0001.510119), ООО «Геохим» (РОСС RU.0001.515828), Лаборатория промышленной санитарии и экологического мониторинга (РОСС RU.0001.514858) и др.

Перечень анализируемых показателей представлен водородным показателем (рН), общей жесткостью (Ж), суммой основных ионов в качестве характеристики минерализации (М), содержанием суммы ионов натрия и калия (Na^+K^+), кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}), сульфатов (SO_4^{2-}), хлоридов (Cl^-), гидрокарбонатов (HCO_3^-), аммония (NH_4^+), кремния (Si), общего железа (Fe) и марганца (Mn).

2.2. Методы исследования

Методы исследования включали:

1. Систематизацию материалов лабораторных анализов проб воды.
2. Характеристику химического состава подземных вод.
3. Выявление и картирование пространственно-временных закономерностей изменения этого состава.
4. Анализ физико-географических, геологических, гидродинамических и техногенных факторов.
5. Оценку влияния этих факторов на химический состав подземных вод в районе исследований.

Систематизация данных лабораторных исследований проб воды включала:

- определение значения минерализации воды (М, мг/дм³), как суммы содержания основных ионов (Na^+K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- и SO_4^{2-}), что

обусловлено определением разными лабораториями, либо минерализации, либо сухого остатка;

- расчет эквивалентных значений (мг-экв, %-экв) основных ионов;
- получение средних значений показателей химического состава для каждой водозаборной скважины;
- генерализация средних значений близко расположенных скважин в точки наблюдений для построения карт распределения показателей по площади;

Для характеристики химического состава использованы классификации О.А. Алекина [3], ОСТ 41-05-263-86 [84]; для оценки пригодности воды для питьевого водоснабжения – санитарные нормы для питьевых вод [108].

Анализ закономерностей пространственного изменения показателей химического состава выполнялся с использованием статистических зависимостей и визуализацией закономерностей в виде карт изменения показателей [28, 30, 86].

Закономерности изменения химического состава во времени устанавливались путем сопоставления гидрогеохимических карт различных временных периодов, построенных с применением программного комплекса GST [110].

Влияние техногенного фактора на изменение химического состава подземных вод горизонта в процессе их эксплуатации, определялось на основании сопоставления средних значений минерализации подземных вод и величины среднегодового суммарного отбора подземных вод, а также динамикой изменения гидрогеохимического режима во времени.

2.3. Характеристика химического состава подземных вод олигоценового горизонта

Химический состав подземных вод региона в среднем на 90 % формируется основными ионами (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} и HCO_3^-). Остальные 10 % приходятся на общее железо, кремний, аммоний и марганец.

Микрокомпоненты присутствуют в следовых количествах или ниже предела обнаружения приборов.

Учитывая, что в разных лабораторных анализах определялись либо общая минерализация, либо сухой остаток, для сопоставимости данных в качестве показателя минерализации была принята сумма основных ионов.

Для обеспечения сопоставимости данных все значения минерализации в дальнейшем приведены в размерности мг/дм³.

На основании ранее проведенных исследований [111-113] известно, что для олигоценового горизонта на территории исследования характерны воды со значением минерализации менее 1 г/дм³ (отвечающие требованию санитарных норм для питьевых вод [108]). Данное значение минерализации определяется как естественное или фоновое, поэтому все химические анализы, имеющие такие значения отнесены к первой группе. В общей выборке они составляют подавляющее большинство (97 %). Однако в общей совокупности данных присутствуют единичные пробы с экстремально высокой для региона минерализацией – более 1 г/дм³. Поскольку такие значения отражают условия формирования состава вод лишь на локальных участках, соответствующие анализы были выделены в отдельную (вторую) группу (Таблица 2.1).

На основании средних значений показателей анализов первой группы можно заключить, что характеризующие ими воды олигоценового горизонта ультрапресные и пресные с величиной минерализации 39-924 мг/дм³, по реакции среды – от слабокислых до щелочных (рН 5,5-8,8 ед.), по величине общей жесткости (0,2-10,2 мг-экв/дм³) – от очень мягких до очень жестких.

Вариативность практических всех показателей очень высокая. Превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) для питьевых вод отмечается по водородному показателю, общей жесткости, содержанию аммония, кремния, общего железа и марганца, редко – по содержанию натрия. Согласно классификации О.А. Алекина воды, имеют весьма пестрый состав: по анионам присутствуют классы гидрокарбонатных и хлоридных вод, по преобладающим катионам – группы натриевых, кальциевых и магниевых, I, II и III

Таблица 2.1 – Фоновые и экстремальные значения показателей химического состава подземных вод олигоценового горизонта

Показатель	Фоновые значения						Экстремальные значения						
	Количество определений	Пределы значений	Среднее значение	Стандартное отклонение	Доля анализов с отклонением от ПДК, %	Максимальная величина превышения, раз	Количество определений	Пределы значений	Среднее значение	Стандартное отклонение	Доля анализов с отклонением от ПДК, %	Максимальная величина превышения, раз	
pH	1511	5,5-8,8	7,0	0,5	2,5	1,1	33	5,1-7,2	6,8	0,7	9	1,2	
Ж, мг-экв/дм ³	1653	0,2-10,2	2,5	1,5	1	2,6		3,6-9,8	5,8	2,0	33	1,4	
M, мг/дм ³	1216	39-924	337	165	-	-		1085-3572	1648	682	100	4,5	
Na ⁺ +K ⁺ , мг/дм ³	1305	1,4-478,0	45,2	44,7	1	4,0		172,6-1182,2	460,7	257,2	97	7,6	
Ca ²⁺ , мг/дм ³	1384	1,4-126,6	27,2	19,2	не нормируется			48,1-136,3	83,5	29,2	не нормируется		
Mg ²⁺ , мг/дм ³	1331	1,1-51,6	13,6	8,2	не нормируется			7,3-36,5	19,8	9,7	не нормируется		
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	801	0,1-87,8	6,1	9,2	-			1,2-7,2	2,9	1,7	-		
Cl ⁻ , мг/дм ³	1506	0,3-228,4	22,9	38,3	0,3	1,5		249,9-1801,8	690,4	417,8	85	6,6	
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	1323	17,7-507,6	222,8	119,8	не нормируется			73,2-634,4	390,9	180,0	не нормируется.		
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	945	0,1-7,4	2,6	1,6	60	4,0		не определено					
Si, мг/дм ³	547	0,9-28,0	15,1	4,7	14	1,5							
Fe общее, мг/дм ³	1059	0,2-19,5	6,1	4,3	95	66,7							
Mn, мг/дм ³	771	0,01-1,1	0,3	0,2	80	11,8							

типов (Рисунок 2.1). Химический состав подземных вод типичен для вод инфильтрационного происхождения (по Г.Н. Каменскому).

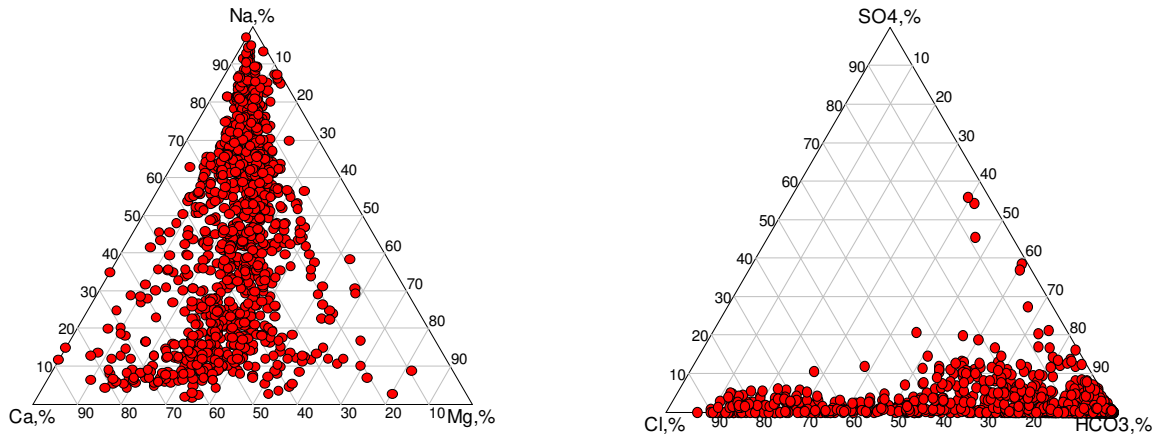


Рисунок 2.1 – Распределение анализов воды по ионно-солевому составу (первая группа)

Анализ корреляционных связей показал, что минерализация вод в первую очередь обусловлена накоплением ионов натрия, калия, кальция и гидрокарбонатов (коэффициент корреляции 0,6–0,9), что указывает на общий источник или ведущий процесс их поступления.

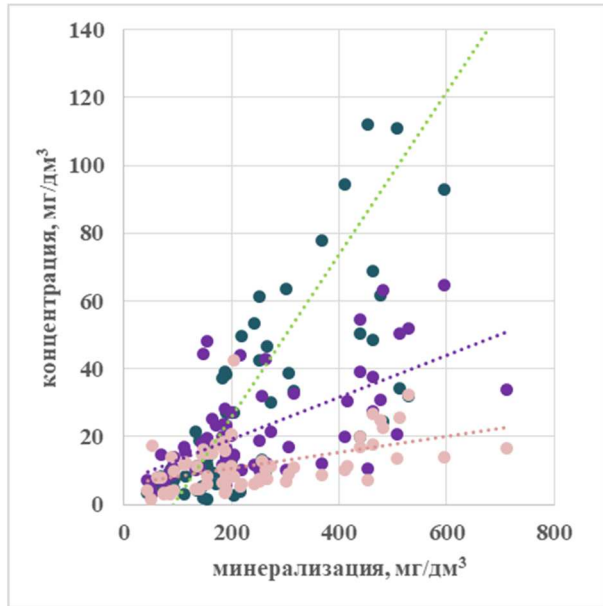
Вклад магния, хлоридов и марганца в изменение общей минерализации статистически менее значим (коэффициент 0,4–0,5) (Таблица 2.2), (Рисунок 2.2).

Таблица 2.2 – Коэффициенты между показателями химического состава подземных вод анализов первой группы

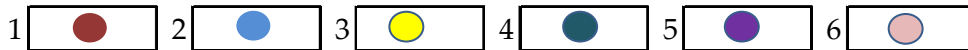
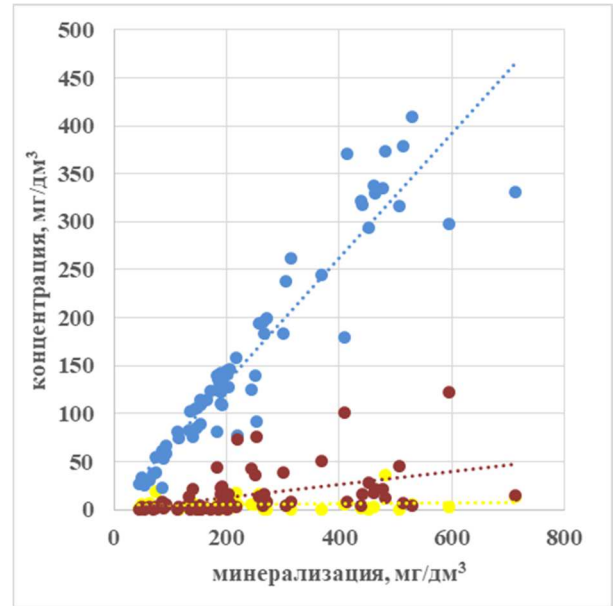
pH	pH	M	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Fe	Si	NH ₄ ⁺	Mn
M	0.1											
Na ⁺ +K ⁺	-0.1	0.7										
Ca ²⁺	0.1	0.6	0.2									
Mg ²⁺	0.3	0.5	0.1	0.6								
SO ₄ ²⁻	-0.2	0.1	0.0	0.6	0.3							
HCO ₃ ⁻	0.1	0.9	0.6	0.7	0.5	0.1						
Cl ⁻	-0.1	0.4	0.4	0.1	-0.1	0.0	0.2					
Fe	-0.1	-0.2	-0.2	0.0	-0.2	0.0	-0.2	0.1				
Si	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	-0.3	0.2	0.1	-0.2			
NH ₄ ⁺	0.1	0.7	0.4	0.4	0.4	0.1	0.8	0.2	-0.2	0.3		
Mn	0.2	-0.4	-0.4	-0.1	0.0	-0.0	-0.4	-0.2	0.3	-0.1	-0,2	

Примечание: жирным шрифтом выделены значимые связи

а)



б)



1 – Cl⁻; 2 – HCO₃⁻; 3 – SO₄²⁻; 4 – Na⁺+K⁺; 5 – Ca²⁺; 6 – Mg²⁺

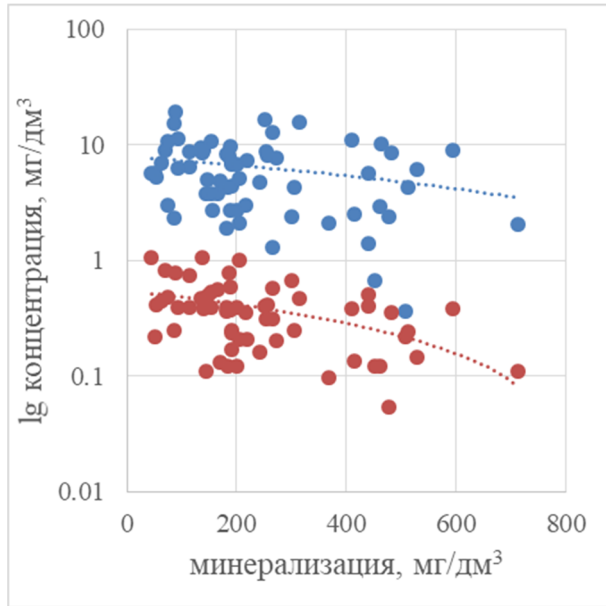
Рисунок 2.2 – Графики зависимости минерализации и концентрации: а) основных катионов, б) основных анионов в подземных водах (анализы первой группы):

Статистические связи минерализации с содержанием основных превышающих норматив для питьевых вод компонентов (общее железо, марганец, кремний и аммоний) имеют разное направление: с первыми двумя показателями связь обратная, со вторыми двумя – прямая (Таблица 2.2), (Рисунок 2.3), что указывает на сложность процессов, обуславливающих концентрацию этих элементов в водах горизонта.

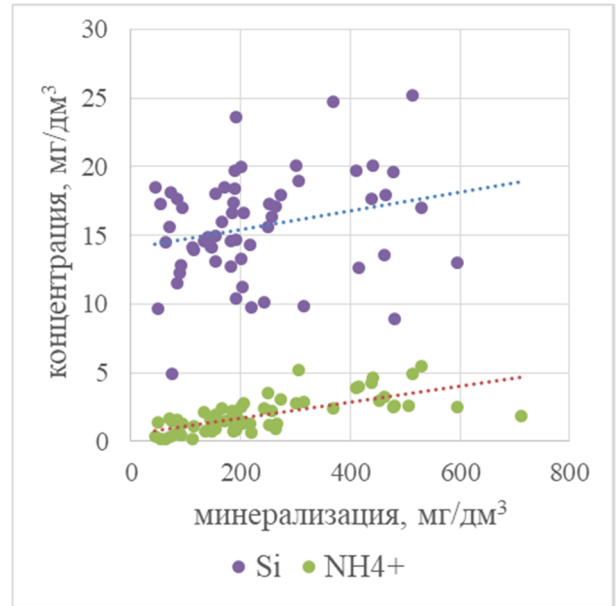
Химические анализы *второй группы* характеризуют воды в местах их отбора, как соленоватые с величиной минерализации 1085-3572 мг/дм³, по реакции среды (5,1-7,2 ед.) от умеренно кислых до нейтральных, по величине общей жесткости (3,6-9,8 мг-экв/дм³) – как умеренно и очень жесткие.

Из перечня определяемых показателей, превышение ПДК для питьевых вод отмечается по минерализации, водородному показателю, общей жесткости, содержанию хлора и натрия.

а)



б)







1  2  3  4  |

Рисунок 2.3 – Графики зависимости от минерализации концентрации: а) железа и марганца, б) кремния и иона аммония (анализы первой группы)

1 – Feобщ.; 2 – Mn; 3 – Si; 4 – NH₄⁺

По классификации О.А. Алекина анализы данной группы характеризуют воды в местах их отбора как гидрокарбонатные и хлоридные. По преобладающим катионам все анализы относятся к группе натриевых I и II типа (Рисунок 2.4).

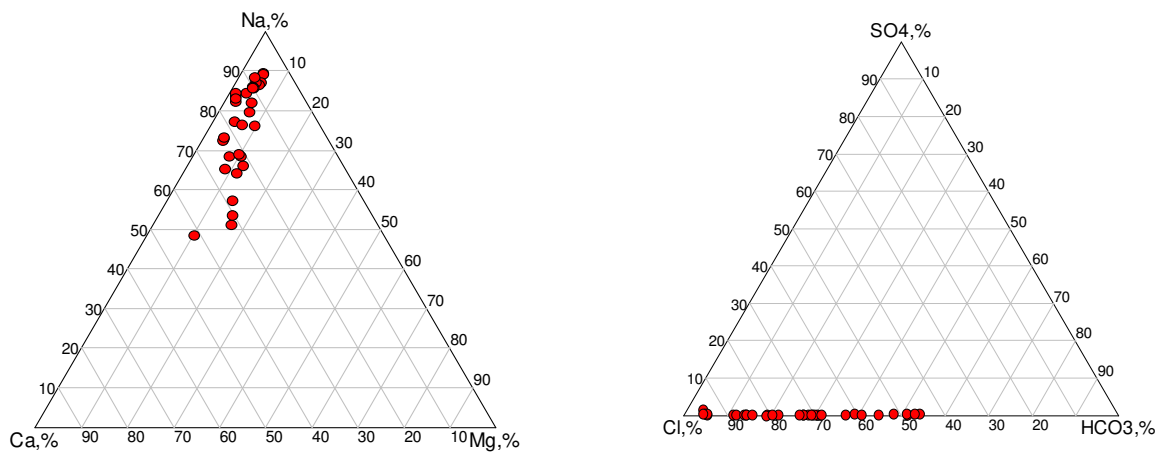


Рисунок 2.4 – Распределение анализов воды по ионно-солевому составу (вторая группа)

Тесная прямая связь (коэффициент корреляции 1,0) отмечается между минерализацией и содержанием составляющих ее основу суммы ионов натрия, калия и хлоридов. Слабее (коэффициент корреляции 0,6) выражена прямая связь между минерализацией и содержанием магния (Таблица 2.3), (Рисунок 2.5).

Таблица 2.3 – Коэффициенты корреляции между показателями химического состава подземных вод анализов второй группы

pH	pH	M	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
M	-0,2							
Na ⁺ +K ⁺	-0,3	1.0						
Ca ²⁺	0,3	0.0	-0.2					
Mg ²⁺	0,2	0.6	0.5	0.3				
SO ₄ ²⁻	-0.8	0.0	0.0	-0.3	0.0			
HCO ₃ ⁻	0.7	0.0	0.1	0.7	0.4	-0.7		
Cl ⁻	-0.4	1.0	1.0	-0.2	0.4	0.2	-0.2	

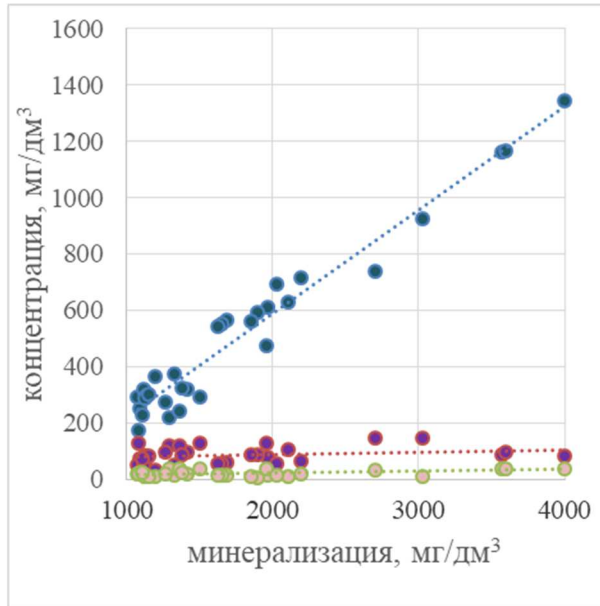
Примечание: жирным шрифтом выделены значимые связи

Таким образом, подземные воды, охарактеризованные анализами второй группы, обладают специфическим химическим составом, принципиально отличающимся от состава вод первой группы.

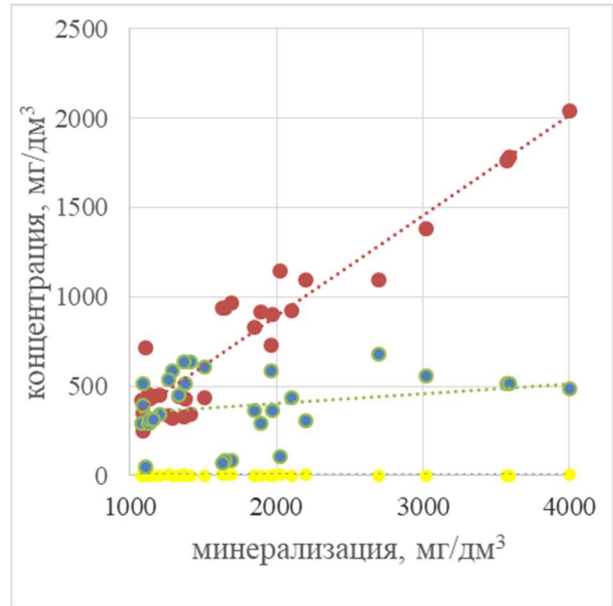
Их хлоридный натриевый состав и корреляция минерализации с ионами натрия, калия и хлора является признаком смешения с водами, сформировавшимися в условиях глубоких горизонтов или на участках, подверженных эпизодическому загрязнению.

Выделение особенностей химического состава подземных вод олигоценного горизонта, обусловленных природными условиями и последствиями техногенного воздействия на территории западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна, выполнено впервые, что составляет научную новизну исследования.

а)



б)



1 – Cl⁻; 2 – HCO₃⁻; 3 – SO₄²⁻; 4 – Na⁺+K⁺; 5 – Ca²⁺; 6 – Mg²⁺

Рисунок 2.5 – Графики зависимости от минерализации концентрации:

а) основных катионов, б) основных анионов в подземных водах (анализы второй группы)

2.4. Пространственные закономерности изменения химического состава подземных вод

Изменение химического состава подземных вод по площади исследования анализировалось на основании парной линейной корреляции средних значений показателей химического состава и пространственных характеристик точек наблюдений (широты и долготы) (Таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Коэффициенты корреляции между показателями химического состава подземных вод и пространственным положением точек наблюдения

Показатель	pH	M	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Fe	Si	NH ₄ ⁺	Mn
Долгота	0,4	0,7	0,5	0,2	0,2	-0,1	0,7	0,1	0,4	0,4	0,5	-0,3
Широта	0,1	0,3	-0,3	0,1	-0,1	0,2	-0,3	0,1	0,2	0,2	-0,2	0,5
Множественный коэффициент корреляции	0,4	0,7	0,5	0,2	0,2	0,2	0,7	0,2	0,4	0,4	0,6	0,6

Значимые положительные статистические связи (коэффициент корреляции 0,7) отмечаются для величины минерализации и содержания гидрокарбонатов, составляющих ее основную ее долю, с длиной расположения точек наблюдения.

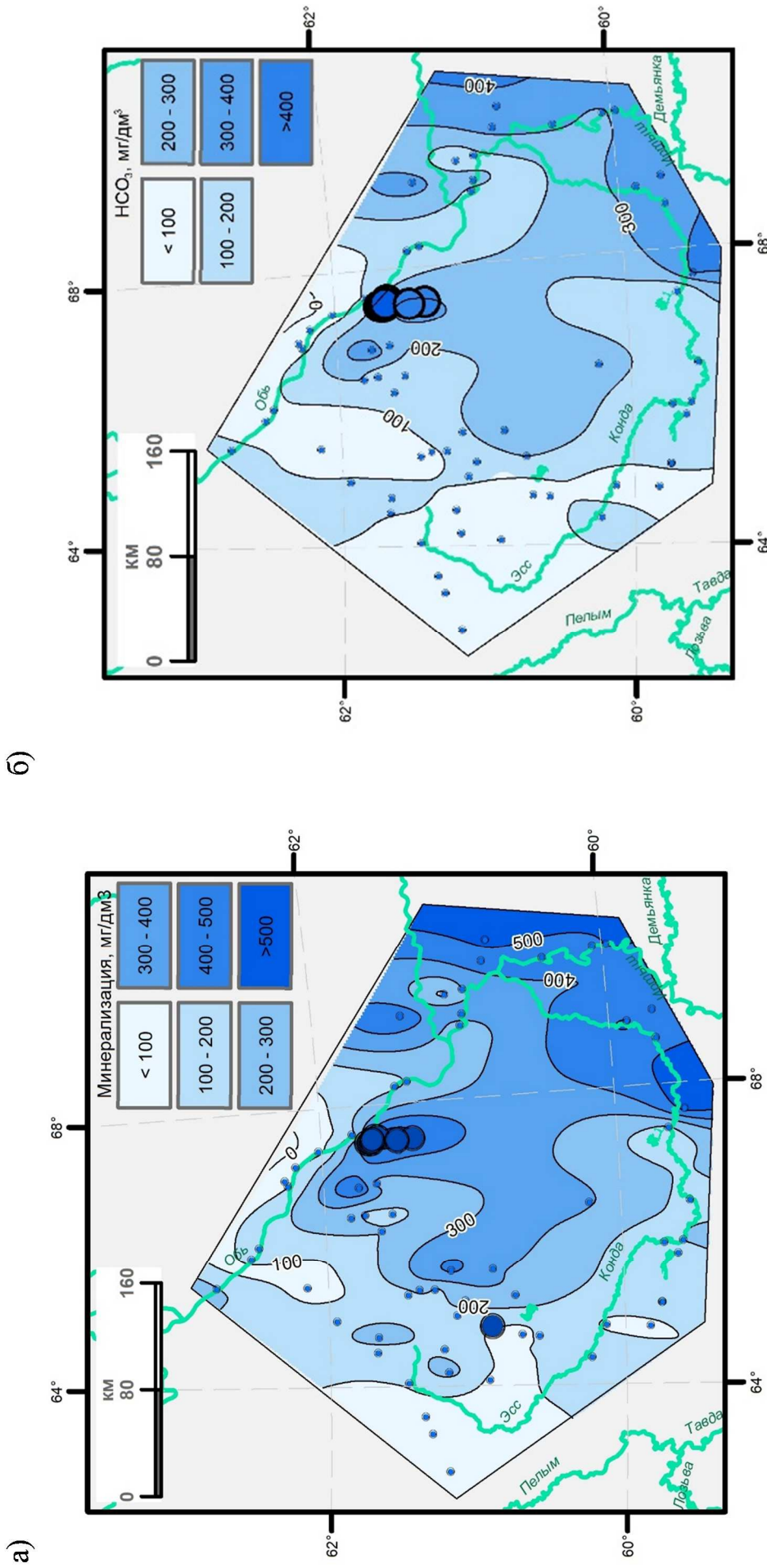
Несмотря на то, что данная зависимость на картах площадного распространения показателей выглядит сложным образом, тем не менее, на них отчетливо прослеживается закономерность увеличения значений минерализации и содержания гидрокарбонатов в направлении с запада на восток территории исследования. При этом, значения показателей в анализах второй группы, демонстрируют несогласное положение относительно общей тенденции (Рисунок 2.6).

Менее выраженные положительные статистические связи (коэффициент корреляции 0,4-0,6) с длиной наблюдаются между такими показателями, как величина водородного показателя (рН), содержание суммы ионов натрия и калия, общего железа, кремния и иона аммония. С широтой, в свою очередь, положительно коррелирует содержание марганца.

Тенденция увеличения значений водородного показателя в направлении с запада на восток близка пространственной закономерности, выявленной для минерализации и содержания гидрокарбонатов (Рисунок 2.7а). Аналогичный тренд повышения значений с северо-запада на юго-восток характерен для содержания суммы ионов натрия и калия (Рисунок 2.7б), иона аммония (Рисунок 2.8а) и кремния (Рисунок 2.8б).

Площадное распределение содержания общего железа имеет сложную конфигурацию (Рисунок 2.9а), однако, оно близко, к более четко выраженной закономерности снижения концентраций марганца в том же направлении – с северо-запада на юго-восток (Рисунок 2.9б).

Таким образом, основной тренд изменения химического состава подземных вод имеет субширотное простирание.



В

Рисунок 2.6 – Схематические карты пространственного изменения средних значений содержания, мг/дм³:
 а) минерализации; б) гидрокарбонатов

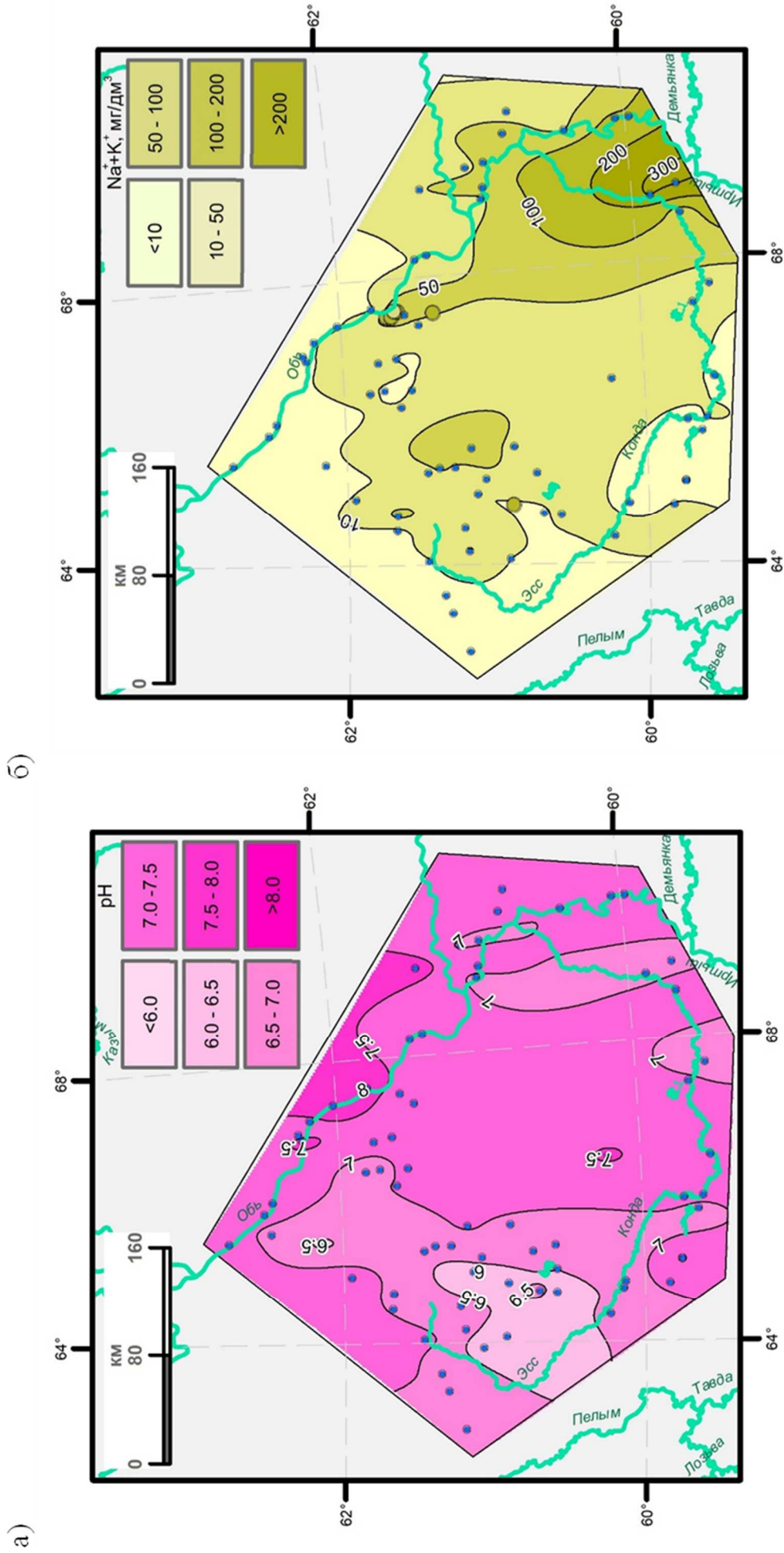


Рисунок 2.7 – Схематические карты пространственного изменения средних значений содержания: а) водородного показателя (pH); б) содержания суммы ионов натрия и калия, мг/дм³

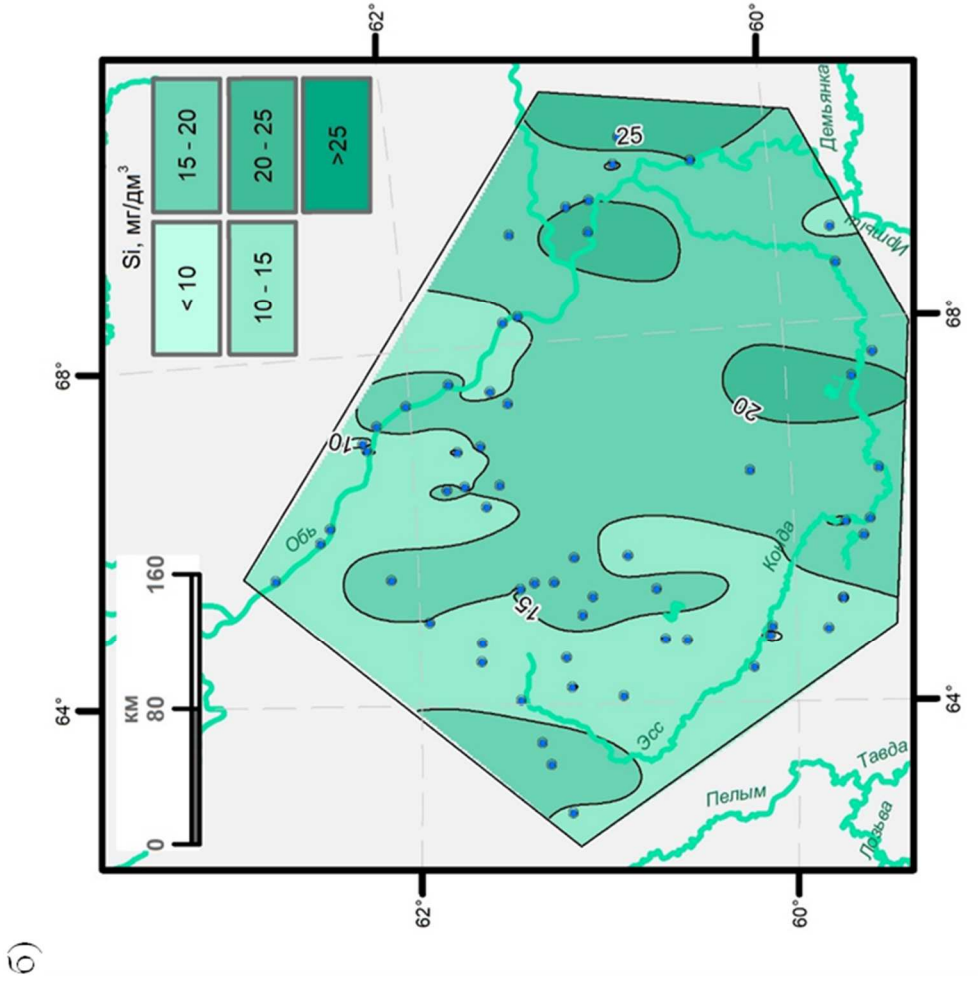
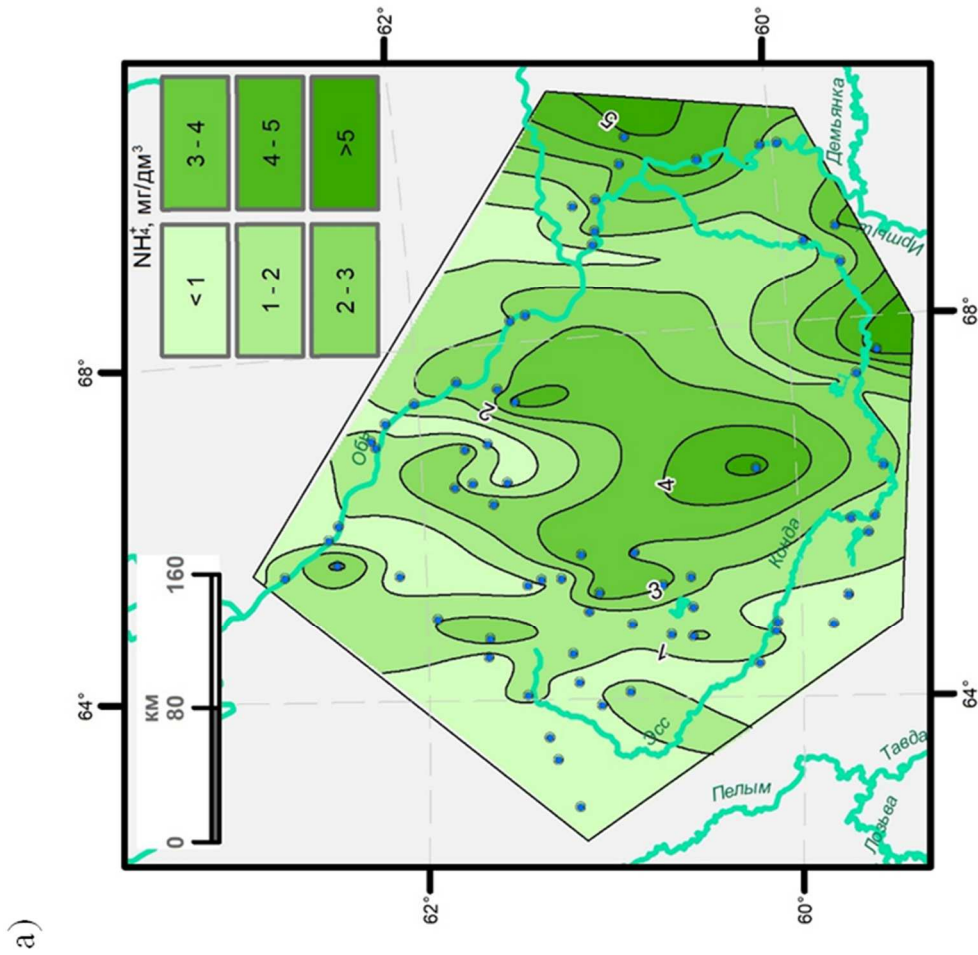
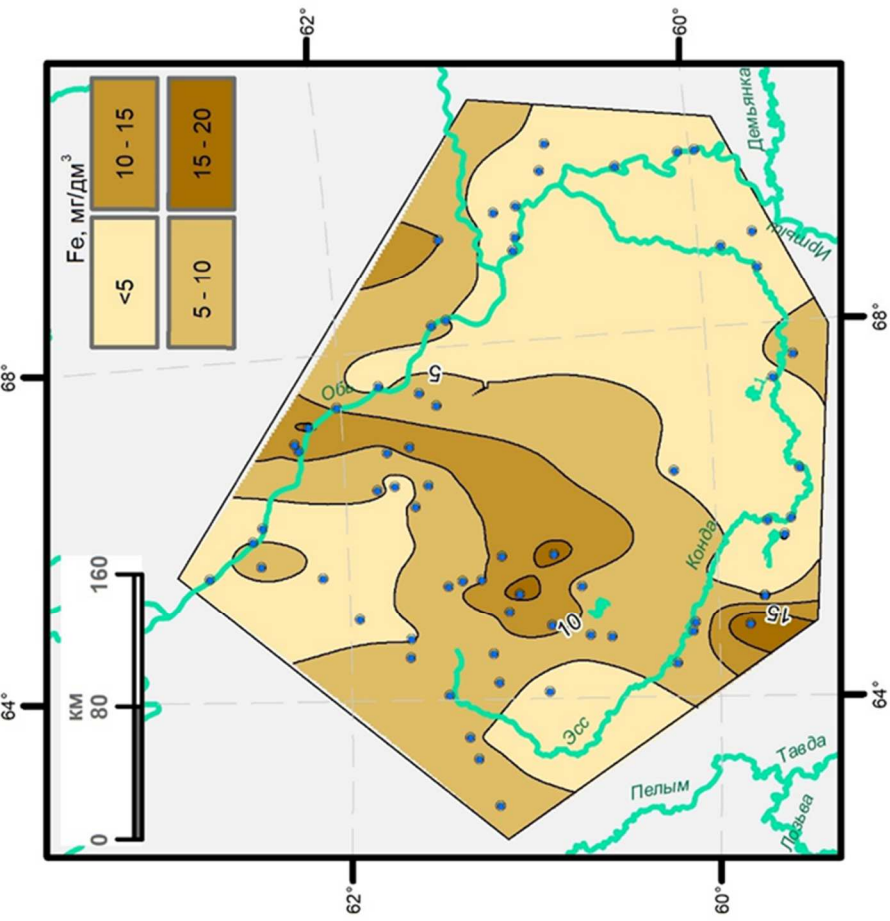


Рисунок 2.8 – Схематические карты пространственного изменения средних значений содержания, mg/dm^3 : а) иона аммония; б) кремния

б)



а)

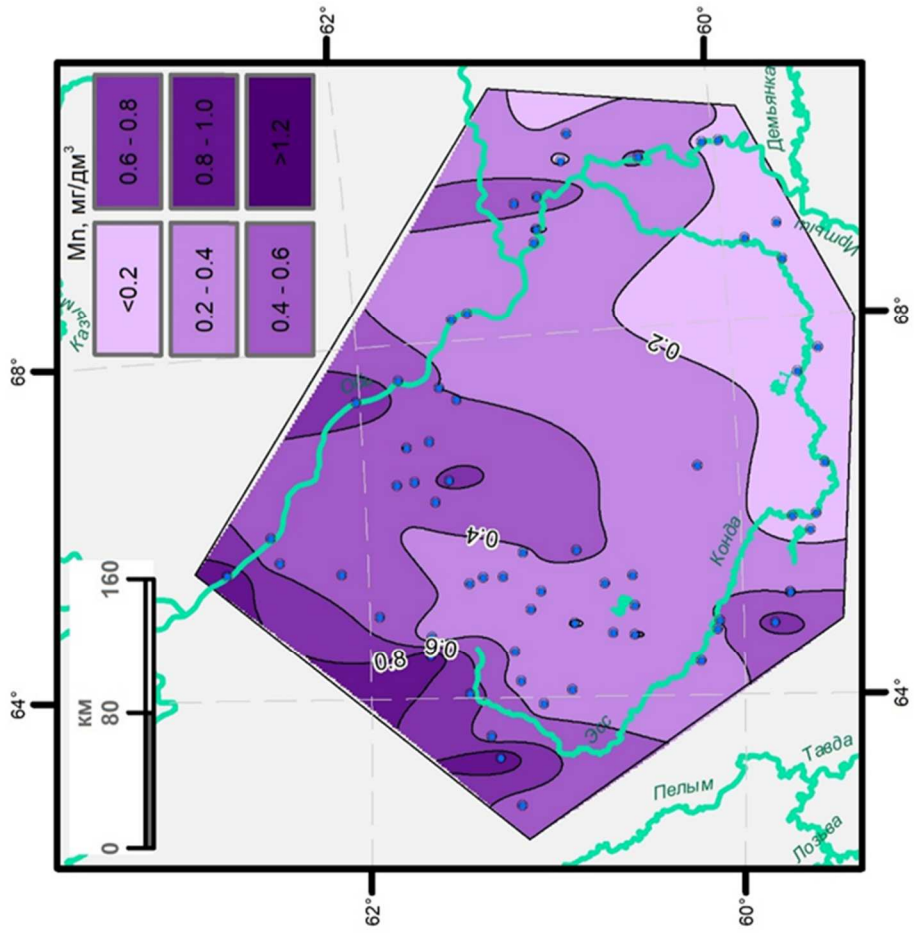


Рисунок 2.9 – Схематические карты пространственного изменения средних значений содержания, мг/дм³: а) общего железа; б) марганца

2.5. Факторы формирования химического состава подземных вод олигоценового горизонта

На основе опыта, полученного многочисленными исследователями и, применительно к условиям Западно-Сибирского мегабассейна, известно, что факторы формирования химического состава подземных вод подразделяются по виду воздействия на прямые, непосредственно влияющие на состав воды (химическое взаимодействие в системе вода-порода, загрязнение в результате человеческой деятельности) и косвенные, определяющие условия и скорость взаимодействия веществ с водой (физико-географические, геологические, гидродинамические) факторы.

2.5.1. Физико-географические факторы

Определяющим комплексным физико-географическим фактором формирования химического состава подземных вод региона является его принадлежность к гумидной зоне.

Большое количество атмосферных осадков, при невысоких температурах воздуха и небольшом испарении создает значительное увлажнение местности, развивает густую гидрографическую сеть, обильный поверхностный сток, способствует развитию эрозионных форм рельефа, процветанию и отмиранию влаголюбивых форм растительности, свободному водообмену в водоносных горизонтах, выносу солей из них и обуславливает формирование пресных вод [92].

Низкая минерализация атмосферных осадков обеспечивает их максимальную растворяющую способность; промораживание горных пород изменяет константы ионного обмена в системе горная порода-раствор, что приводит к разрушению минеральной части их скелета [105].

Под воздействием физико-географических факторов почвы и горные породы зоны активного водообмена подвергаются физическому, химическому и

биологическому выветриванию, основными инициаторами которого являются атмосферная вода, растворенная углекислота, азот и кислород воздуха.

При инфильтрации вод в результате процессов растворения, гидролиза, гидратации, окисления, биохимического превращения происходит разрушение первичных и образование вторичных минералов, накопление в жидкой фазе химических элементов, формирующих их химический состав.

Благодаря насыщению органическими веществами почвенного и растительного происхождения, которые содержат большое количество растворенного CO_2 , подземные воды приобретают высокую реакционную способность. Это позволяет им активно взаимодействовать с карбонатными и силикатными породами, формируя гидрокарбонатный кальциевый и натриевый состав [46, 92, 127].

Физико-географическая зональность территории определяет пространственную изменчивость режима и химического состава подземных вод.

На возвышенностях расчленённость рельефа и состав почв способствуют более интенсивному поверхностному и подземному стоку по сравнению с низменностями. По имеющимся данным, подземные воды олигоценового горизонта на возвышенностях на 13 % менее минерализованы, чем в низменностях (Таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Значения показателей химического состава подземных вод олигоценового горизонта в зависимости от физико-географических условий, мг/дм³

Показатель,	Возвышенность		Низменность	
	пределы значений	среднее значение	пределы значений	среднее значение
минерализация	5-968	317	39-931	363
NH_4^+	0,1-7,0	1,9	0,1-8,0	2,9

Примечание: жирным шрифтом выделены значимые отличия

Для низменностей, болот и пойм рек характерно накопление мощной толщи органического вещества.

При его биохимическом разложении микроорганизмы-аммонификаторы потребляют растворённый кислород, создавая устойчивую восстановительную

геохимическую обстановку и продуцируют ион аммония по следующей схеме [45]):



Застойный гидродинамический режим низменностей и болот способствует длительному контакту вод с продуктами разложения органики, что приводит к концентрации в водах неоген-четвертичного горизонта иона аммония.

Последующий транзит этих вод путём инфильтрации является основным источником поступления иона аммония в подземные воды олигоценного горизонта.

Унаследованный характер рельефа и формирование олигоценных отложений в фациях, аналогичных современным озерно-аллювиальным, позволяет проводить прямую аналогию между условиями формирования химического состава вод в неоген-четвертичном и олигоценном горизонтах. Эта аналогия находит подтверждение в имеющихся данных: так, содержание иона аммония в подземных водах олигоценного горизонта в низменностях на 35 % выше, чем на возвышенностях (Таблица 2.5).

2.5.2. Геолого-гидродинамические факторы

Приуроченность кайнозойского гидрогеологического бассейна к гидрогеологическим структурам определяет динамику его подземных вод.

Области питания подземных вод слоистой водообменной системы бассейнов стока практически совпадают с площадью их распространения. Питание происходит через верхнюю границу системы и вертикального водообмена за счет рассредоточенной инфильтрации метеогенных вод.

В региональном плане общая тенденция к снижению уровней подземных вод отмечается в направлении главной дрены района – реки Оби, а местные уклоны рельефа создают ее многочисленные притоки [33].

В соответствии с общим погружением осадочного чехла ЗСМБ в направлении с запада на восток, увеличением мощности и глубины залегания

продуктивных интервалов олигоценового водоносного горизонта снижается интенсивность водообмена, в результате чего происходит повышение минерализации подземных вод (Рисунок 2.10), (Рисунок 2.11).

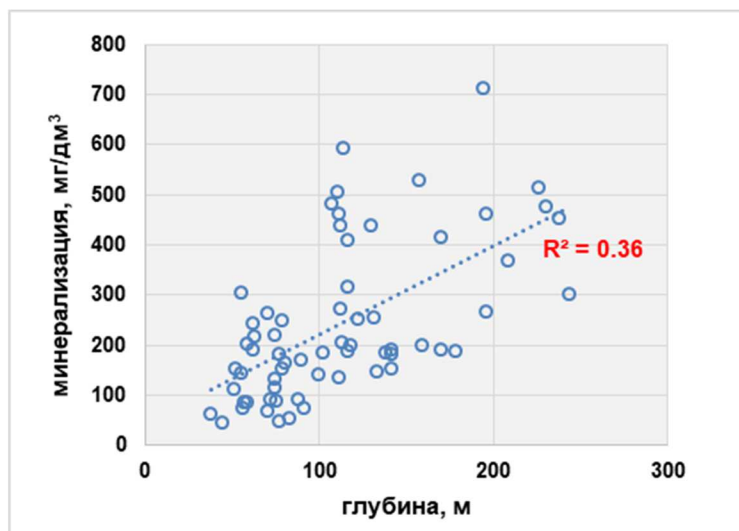


Рисунок 2.10 – График зависимости минерализации подземных вод от глубины залегания интервала опробования

Данная закономерность соответствует классической вертикальной гидрогеохимической зональности (увеличению минерализации подземных вод с глубиной), которая наблюдается и в широтном направлении.

2.5.3. Минеральный состав водовмещающих пород и гидрогеохимические процессы взаимодействия

Как известно, в водоносных горизонтах, заключенных в осадочных толщах, обогащение вод ионами осуществляется непосредственно за счет выщелачивания растворимых минералов, находящихся в породах [92].

Постседиментационные преобразования минералов, такие как пелитизация полевых шпатов, их каолинитизация и образование гидрослюд приводят к изменению содержания в воде основных ионов, изменению кислотно-щелочного состояния и минерализации.

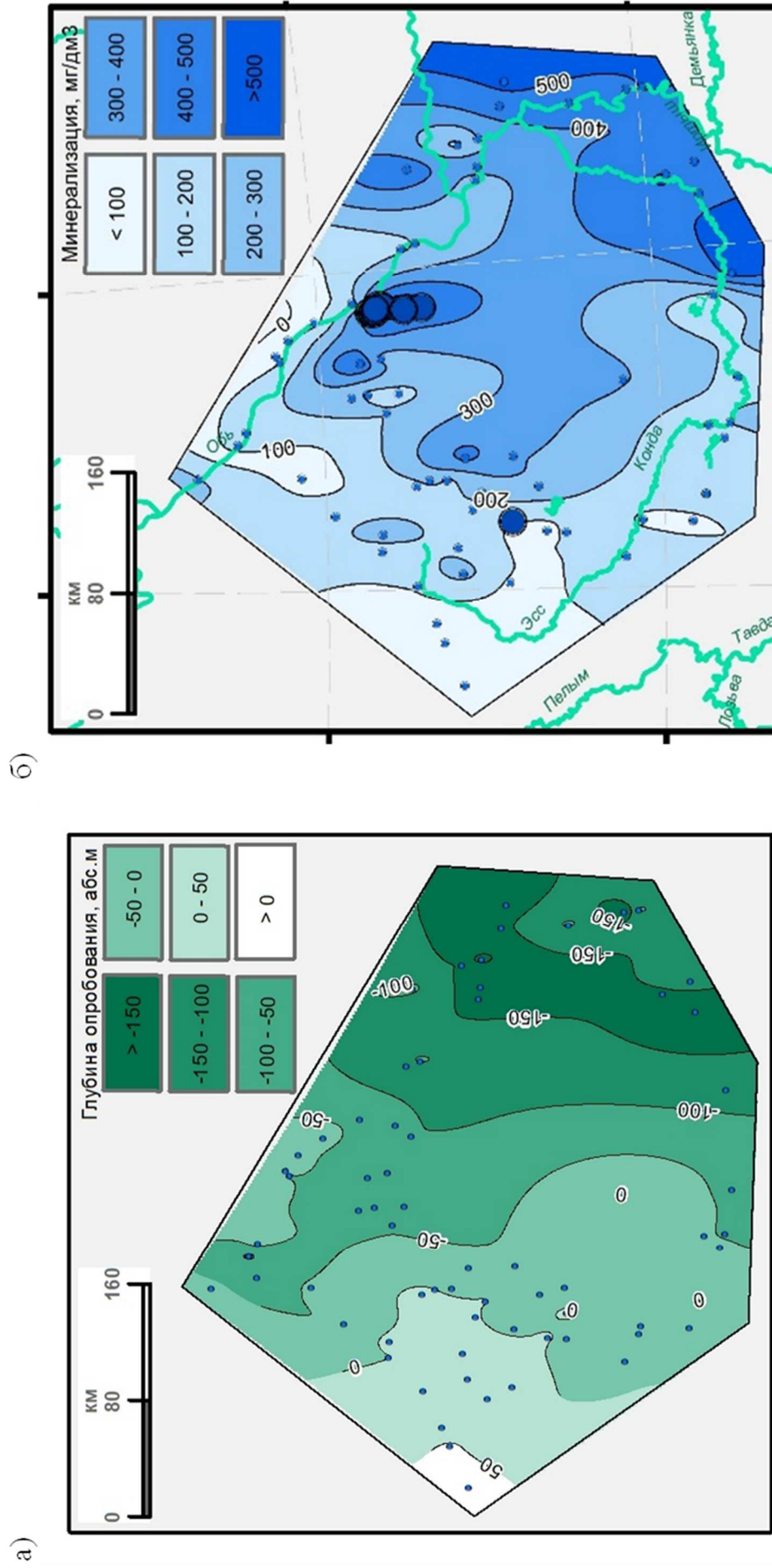


Рисунок 2.11 – Схематические карты пространственного изменения: а) глубин залегания интервалов опробования олигоценного горизонта, абс. м.; б) средних значений минерализации подземных вод олигоценного горизонта, мг/дм³

В мелкозернистой содержащей коллоиды среде, формирование химического состава воды усложняется катионным обменом, диагенезом и другими сопутствующими явлениями [68].

Основными компонентами химического состава подземных вод олигоценового горизонта среди катионов являются натрий, кальций, магний, среди анионов – гидрокарбонаты, в значительно меньшем количестве – хлориды и очень редко – сульфаты.

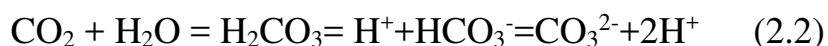
Среди прочих неорганических веществ следует выделить химические элементы и соединения, содержание которых в подземных водах олигоценового горизонта стабильно превышает санитарные нормы для питьевых вод. К ним относятся общее железо, марганец, кремний и ион аммония.

В осадочных породах важнейшим источником *кальция и магния* является кальцит – основной минерал известняков, мергелей, мела, а также доломит и магнезит.

Натрий входит в состав многих силикатов, в основном натриевых полевых шпатов, *калий* поступает в подземные воды при их взаимодействии с калийсодержащими минералами, такими как ортоклаз, микроклин, флогопит и мусковит, гидрослюда.

Источником *хлора* являются осадочные породы и седиментационные растворы. Основным источником поступления углекислоты в подземные воды является атмосферный CO_2 , большое значение в образовании которого имеют превращения в почвенных горизонтах.

В результате его взаимодействия с водой образуется *гидрокарбонат-ион* и свободный ион водорода по следующей реакции:



В осадочных породах источниками *сульфатов* являются сульфатные минералы- гипс и ангидрит.

Основным источником *железа* в подземных водах являются алюмосиликатные минералы, содержащие его окислы, а также донные отложения болот и водоемов, переводящие его в раствор в виде сложных комплексов

органических кислот [53]. Накоплению (Fe^{2+}) в подземных водах олигоценового горизонта способствует восстановительная среда, в которой формируются идеальные условия для его миграции (И.С. Иванова, О.Е. Лепокурова, С.Л. Шварцев, 2010) [49, 51].

Грунтовые воды с высоким содержанием органических веществ, широко распространенные в гумидной зоне, в силу высокой агрессивной способности по отношению к водовмещающим породам, характеризуются высокими потенциальными возможностями накопления *марганца* в подземных водах [69].

По результатам термодинамических расчетов, выполненных для подземных вод олигоценового горизонта в южной части Среднеобского бассейна (И.С. Иванова, 2013) установлено, что основной миграционной формой марганца в природных водах являются ионы Mn^{2+} , но при высоких содержаниях органического вещества в водах формируются его комплексные соединения с органическими веществами гумусового ряда [50].

Кроме того, по данным геолого-съемочных работ [148] установлено, что гидравлически взаимосвязанная толща кайнозойских отложений содержит минералы, в химическом составе которых присутствуют соединения марганца: гранат, турмалин, минералы группы амфиболов, пироксены, ставролит.

Таким образом, концентрация общего железа и марганца в подземных водах олигоценового горизонта формируется под влиянием двух основных источников: инфильтрации обогащённых этими элементами вод из перекрывающих неоген-четвертичных отложений, а также за счет выщелачивания минералов из толщи водовмещающих пород горизонта.

Источником *кремния* в подземных водах являются многочисленные силикатные минералы, при их взаимодействии с водой в жидкую фазу переходят значительное количество кремния в форме H_4SiO_4 .

Ниже приведены характерные реакции растворения порообразующих минералов по В.П. Звереву [46] и интернет - источникам (Таблица 2.6).

Таблица 2.6 – Характерные реакции растворения породообразующих минералов и образование основных компонентов химического состава подземных вод

Минерал	Реакция	Компонент химического состава подземных вод
Альбит	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + 4\text{H}^+ + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Al}^{3+} + 3\text{H}_4\text{SiO}_4^0$	$\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Si}$
Микроклин	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8 + 4\text{H}^+ + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}^+ + \text{Al}^{3+} + 3\text{H}_4\text{SiO}_4^0$	
Кальцит	$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$	Ca^{2+}
Доломит	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-}$	Mg^{2+}
Галит	$\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$	Cl^-
Гипс	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$	SO_4^{2-}
Сидерит	$2\text{FeCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 (\text{aq}) + \text{H}^+ \rightarrow 2\text{Fe}^{2+} + 3\text{HCO}_3^-$	Fe^{2+}

В формировании вещественного состава пород кайнозойской толщи большую роль сыграл вынос обломочного материала с Урала, поэтому, в направлении удаления от него с запада на восток, в соответствии с погружением подошвы кайнозойского гидрогеологического бассейна и увеличением мощности олигоценых отложений, по территории исследования происходит замещение куртамышской свиты на атлым-новомихайловскую, а также изменение содержания основных компонентов минерального состава пород по площади.

Так, в направлении с запада на восток в легкой фракции песков (размер частиц 0,05-0,1 мм) снижается относительное по весу содержание кварца, за счет увеличения содержания полевых шпатов, а также снижение содержания минералов группы магнетит-ильменит в тяжелой фракции песков (размер частиц более 2,5 мм) (Рисунок 2.12).

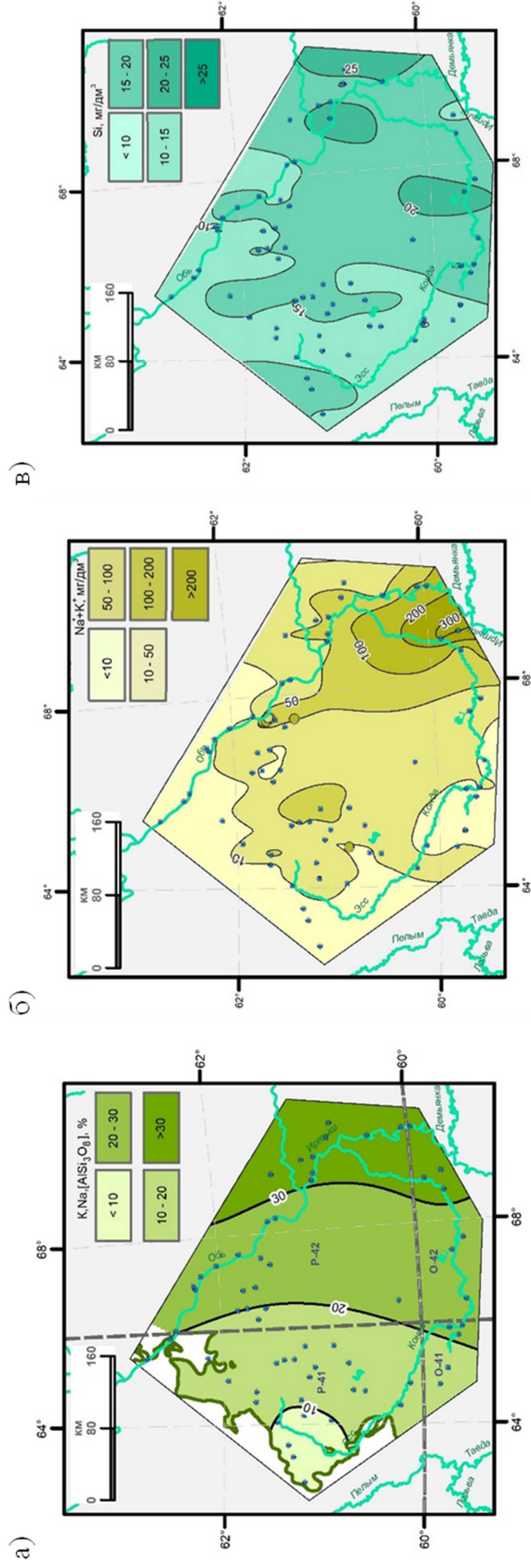


Рисунок 2.12 – Схематические карты средних значений: а) относительного содержания полевых шпатов в легкой фракции песков куртамышской и атлымской свит, % по весу; б) содержания суммы натрия и калия в подземных водах олигоценового водоносного горизонта, мг/дм³; в) содержания кремния в подземных водах олигоценового водоносного горизонта, г/дм³

Таблица 2.7 – Средние значения отдельных показателей вещественного состава песков куртамышской и атлымской свит олигоцена (по данным геологосъемочных работ), % - ое содержание по весу

Минерал	Химическая формула	Р-41		Р-42	О-41		О-42		Среднее значение	
		Куртамышская свита	Атлымская свита	Атлымская свита	Куртамышская свита	Атлымская свита	Куртамышская свита	Атлымская свита		
легкая фракция										
кварц	SiO ₂	90.0	82.5	57.5	79.5	55.0	84.8	65.0		
полевой шпат	K,Na, ₂ [AlSi ₃ O ₈]	7.5	10.0	35.7	17.9	32.0	12.7	25.9		
тяжелая фракция										
магнетит-ильменит	FeOFe ₂ O ₃ , FeTiO ₃	65.0	65.0	66.0	67.2	38.7	66.1	56.6		
группа эпидота	Ca ₂ (Al, Fe) ₃ [SiO ₄] [Si ₂ O ₇] O(OH)	н.с	10.5	11.9	15.9	24.0	15.9	15.5		
лейкоксититанистые минералы	Fe ₂ Ti ₃ O ₉	7.0	н.с.	н.с.	8.0	18.8	7.5	18.8		
циркон	ZrSiO ₄	8.0	н.с.	н.с.	9.4	5.5	8.7	5.5		

*н.с. – нет сведений

Соответственно тенденции удаления от Уральских месторождений железных и марганцевых руд, снижению содержания в водовмещающих породах минералов группы магнетит-ильменит, с северо-запада на юго-восток в подземных водах олигоценного горизонта снижается содержание общего железа и марганца, имеющих близкую геохимию [69] (Рисунок 2.13).

Таким образом, пространственные закономерности изменения содержания контролируемых компонентов в подземных водах олигоценного горизонта соответствуют закономерностям изменения минерального состава водовмещающих отложений. Эти корреляции установлены впервые и составляют научную новизну.

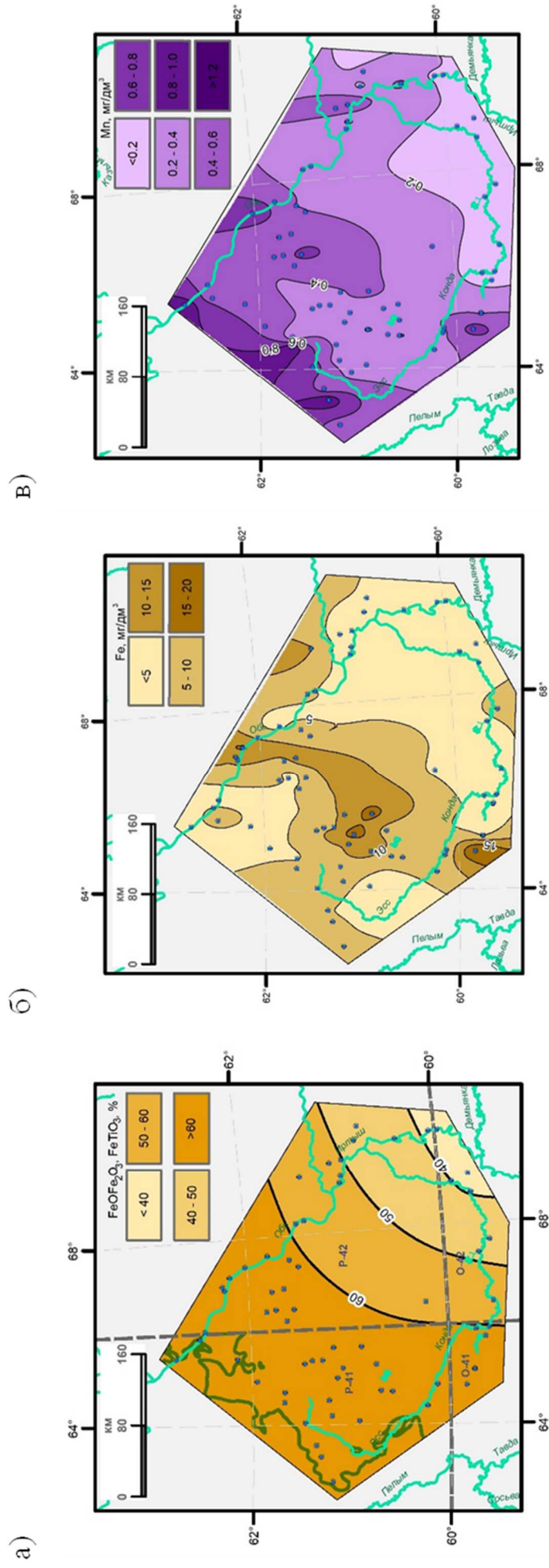


Рисунок 2.13 – Схематические карты средних значений содержания минералов группы магнетит-ильменит в тяжелой фракции песков куртамышской и атлымской свит, %; б) содержания общего железа в подземных водах, мг/дм³; в) содержания марганца, мг/дм³ в подземных водах олигоценового горизонта

2.5.4. Техногенный фактор

Несмотря на тот факт, что по имеющимся данным, систематического загрязнения подземных вод олигоценового горизонта нефтепродуктами, хлоридами, фенолами, СПАВ и ртутью – индикаторами загрязнения подземных вод на нефтяных месторождениях [СП 2.1.5.1059-01 «Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения»] не отмечается, наличие анализов с экстремальными значениями минерализации и их хлоридный натриевый состав являются признаками смешения с водами, сформировавшимися в условиях глубоких горизонтов или на участках, подверженных эпизодическому загрязнению.

Техногенное влияние на химический состав подземных вод в районе исследования проявляется также в результате интенсивной эксплуатации, которая приводит к изменению гидродинамических условий горизонта. В эксплуатируемом пласте увеличивается скорость фильтрационного потока, создаются условия для усиления его питания ультрапресными водами атмосферных осадков путем перетекания из вышележащего неоген-четвертичного горизонта.

В силу высоких фильтрационных свойств водовмещающих пород олигоцен-четвертичной толщи, как подчеркивается в работах С.Н. Тагильцева [115], В.С. Тагильцева и др. [114], в процессе эксплуатации водозаборных скважин, практически повсеместно в Западной Сибири реализуется схема пласта с перетеканием.

Проявление данных процессов изучалось на участке, включающем группу водозаборов, компактно расположенных на ограниченной площади (Рисунок 1.1).

Для оценки влияния водоотбора на минерализацию подземных вод олигоценового горизонта использовались выборки данных лабораторных анализов, выполненных в двух независимых лабораториях (Таблица 2.8).

Таблица 2.8 – Средние значения минерализации подземных вод в зависимости от величины водоотбора из скважин

Показатель	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Водоотбор, м ³ /сут	3836	4708	4467	3591	3192	4194	5160	5207	4243
Минерализация, мг/дм ³ (лаборатория ИНГГ СО РАН)	353	154	232	255	297	96	н.с.	н.с.	170
количество анализов	3	8	8	6	7	2	-	-	10
Минерализация, мг/дм ³ (лаборатория ООО «ЦНИИПР»)	н.с.	н.с.	н.с.	225	284	207	169	179	н.с.
количество анализов				84	87	179	154	145	

*н.с. – нет сведений

На основании временного прослеживания среднего значения минерализации подземных вод в целом по участку исследования за период 2016-2024 гг., можно отметить снижение ее величины в 2023-2024 гг. по отношению к 2016 г. и 2019 гг. (Рисунок 2.14).

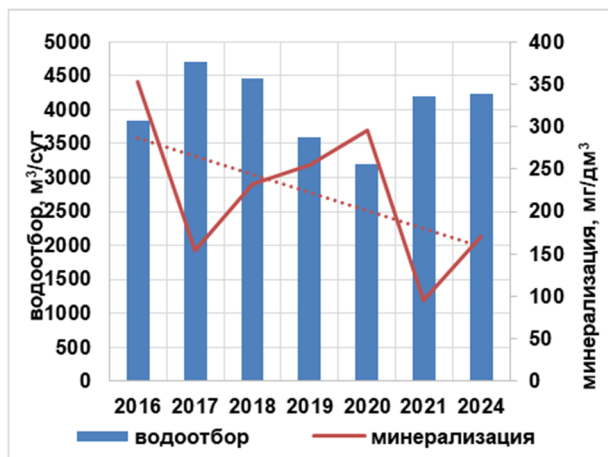
Впервые установлена взаимосвязь между минерализацией подземных вод и интенсивностью водоотбора, что составляет научную новизну работы.

Значимая связь (коэффициенты корреляции 0,6 и 0,9) предполагает, что водоотбор из скважин является одной из движущих сил снижения минерализации подземных вод.

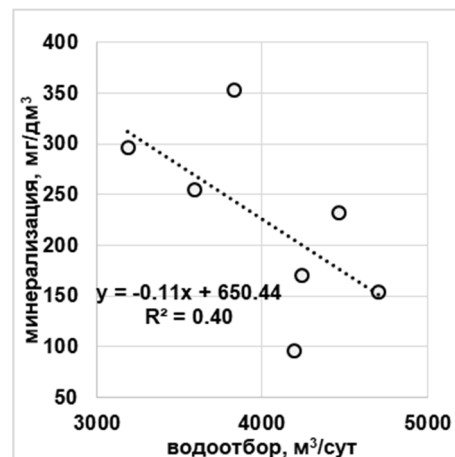
Динамика изменения гидрогеохимического режима водоносного горизонта в естественном и нарушенном состояниях изучалась на территории юго-западной части ХМАО-Югры, входящей в район исследования (М.В. Вашурина, Ю.О. Русакова, А.Л. Храмцова, 2018) [24].

Все имеющиеся гидрогеохимические данные разделены на два периода: условно начальный период эксплуатации (с 1969 по 1986 г.) и современный (2006-2018 г.), выделены сопоставимые точки наблюдений, в качестве которых выступали водозаборные скважины, имеющие близкое расположение и интервалы опробования.

а)



б)



в)



г)

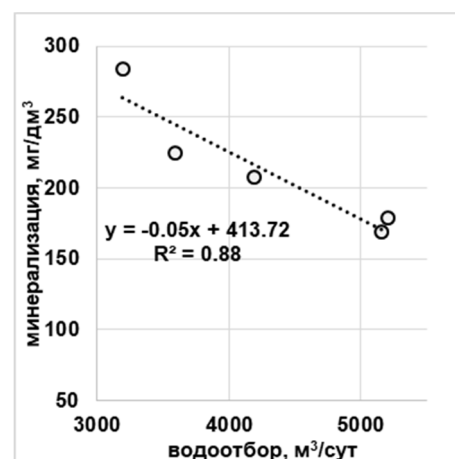


Рисунок 2.14 – Графики: а), в) средних значений величин водоотбора и минерализации подземных вод; б), г) статистической связи средних значений величин водоотбора и минерализации подземных вод

Для определения характера изменения гидрогеохимического режима водоносного горизонта во времени выполнен статистический анализ данных.

При сопоставлении частот распределения значений сухого остатка по сгруппированным интервалам значений отмечено, что в современный период в сопоставимых точках наблюдений, доля проб со значением сухого остатка менее 200 мг/дм³ составляет 68 % выборки, тогда как в начальный период эксплуатации этот показатель составлял 48 % (Рисунок 2.15). Данная закономерность служит свидетельством тенденции к снижению минерализации подземных вод на эксплуатируемых участках за время работы водозаборов.

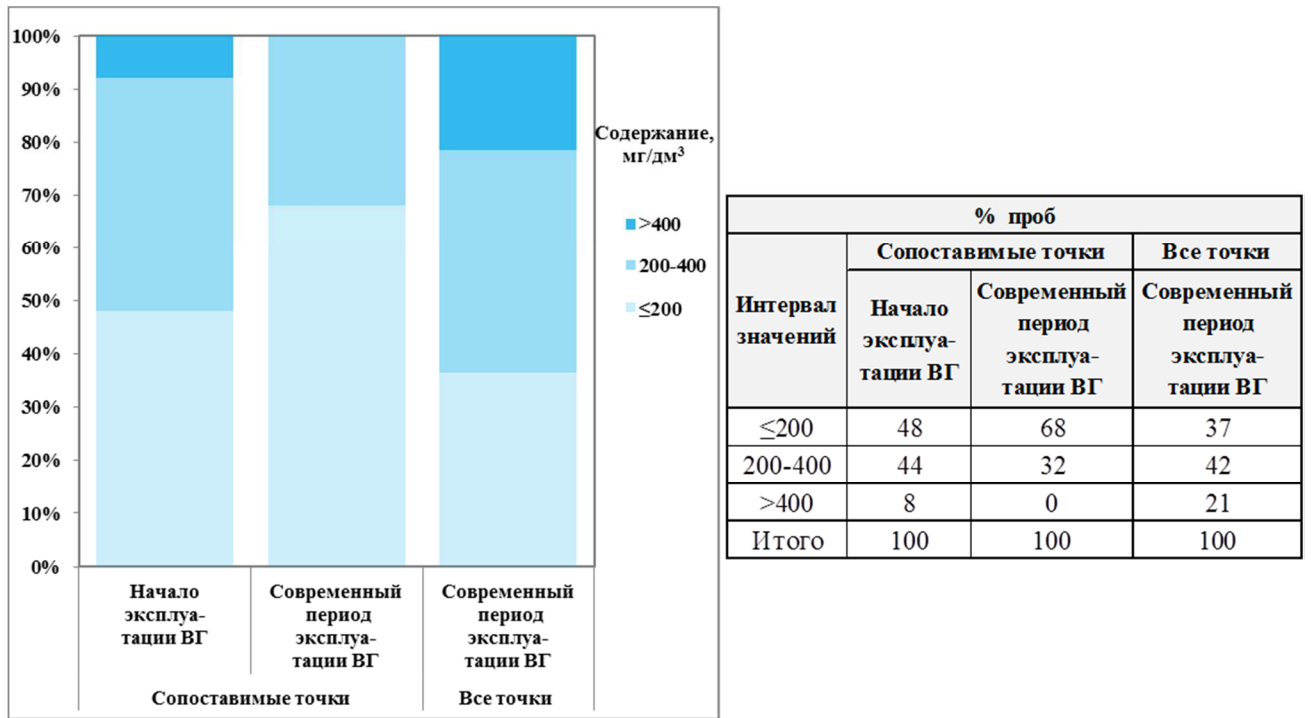
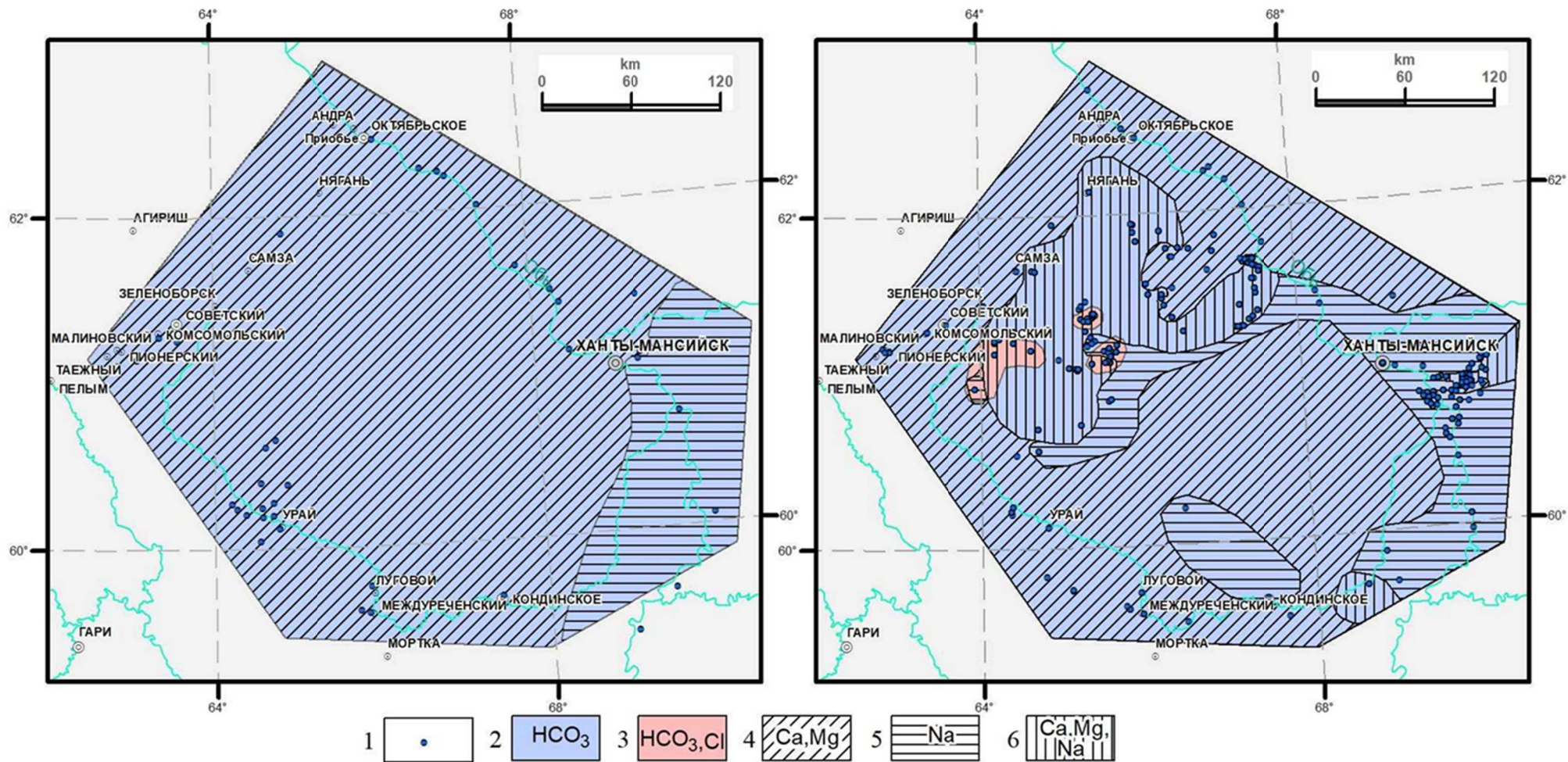


Рисунок 2.15 – Динамика статистического распределения значений сухого остатка в подземных водах олигоценового горизонта (Ващурина М.В., Русакова Ю.О., Храмова А.Л., 2018 [24])

Одновременный рост числа анализов со значениями сухого остатка более 400 мг/дм³ в современный период в общей выборке данных, связан с отбором проб на новых, недавно введённых водозаборах. В их районе ещё не проявились последствия интенсивной эксплуатации, и химический состав вод остаётся близким к естественному, более минерализованному фоновому состоянию.

Сравнительный анализ гидрогеохимических карт, построенных на 1983 г. [153] и современный период (Рисунок 2.16), позволяет отметить что, гидрогеохимическая зональность за 30-38-летний период в основном сохранена: с запада на восток происходит смена ионно-солевого состава воды от гидрокарбонатного кальциевого на гидрокарбонатный натриевый.

Отличие в картировании гидрогеохимических районов в современном периоде (появление в центральной и восточной частях района смешанного, как по анионам, так и по катионам состава вод) обусловлено повышением детальности изучения гидрогеохимических условий за счет увеличения количества точек наблюдений.



1 – участок наблюдений; 2 – гидрокарбонатный состав вод; 3 – смешанный по анионам состав вод; 4 – кальциевый и магниевый состав вод; 5 – натриевый состав вод; 6 – смешанный по катионам состав вод

Рисунок 2.16 – Схематические гидрогеохимические карты по состоянию на: а) 1983 г.[153]; б) 2013-2021 гг.

В то же время, при сопоставлении значений в одних и тех же точках наблюдений в двух временных интервалах – на начало их эксплуатации (1969-1986 гг.) и современный период [24], на эксплуатируемых участках отмечается уменьшение числа проб воды с однородным гидрокарбонатным кальциево-магниевым составом (24 % в целом по всем точкам и 40 % в сопоставимых, против 52 %), появление в новых точках наблюдений однородных гидрокарбонатных натриевых и хлоридных натриевых типов вод (1 %); увеличение в целом по всем точкам наблюдений числа проб воды смешанного по катионам состава за счет увеличения содержания суммы ионов Na^+ и K^+ (48 % и 49 % против 36 %); увеличение доли вод смешанного типа как по анионам, так и по катионам (12 % и 16 % против 8 %) (Рисунок 2.17).

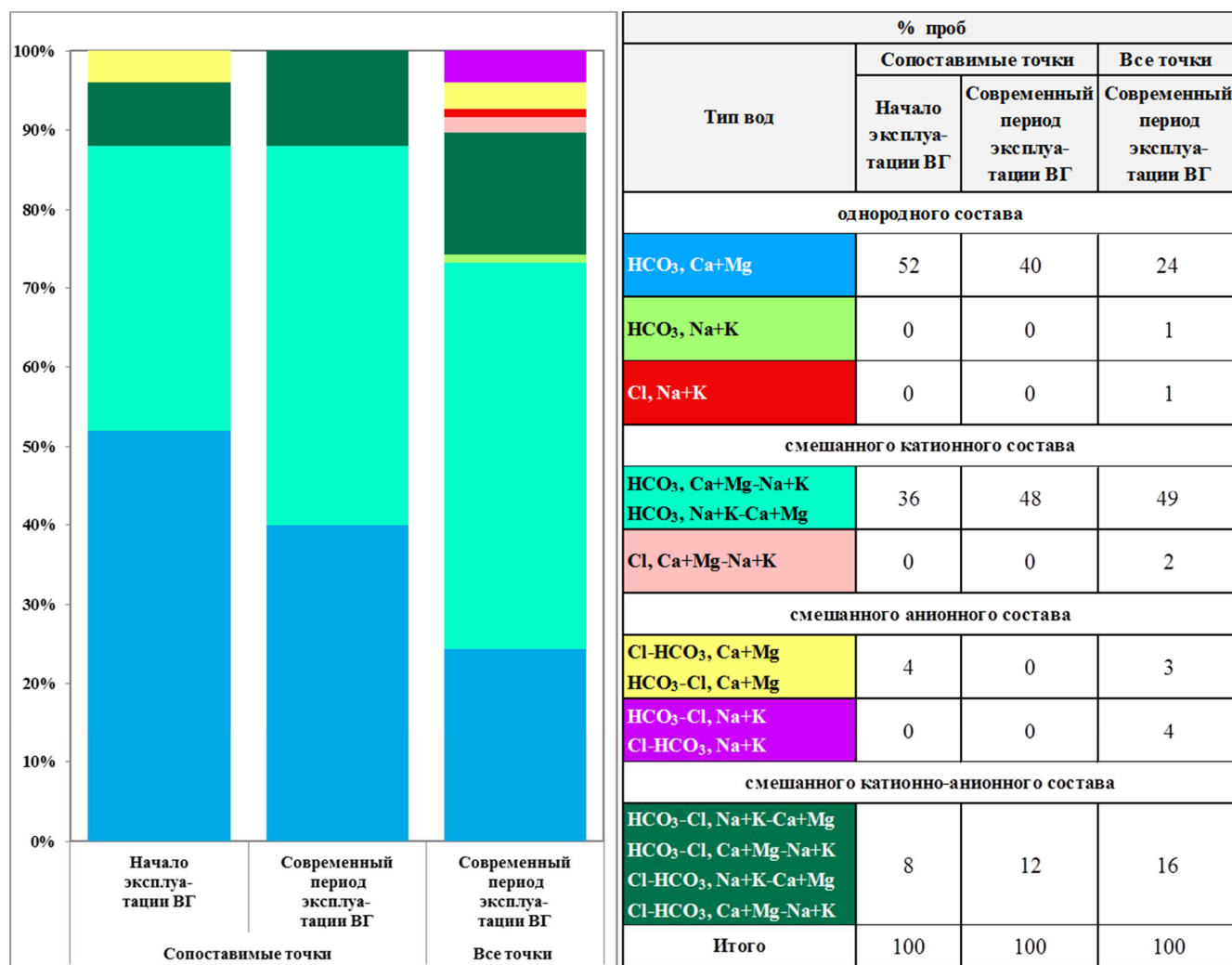


Рисунок 2.17 – Динамика статистического распределения компонентов ионно-солевого состава подземных вод олигоценного горизонта (Вашурина М.В., Русакова Ю.О., Храмова А.Л., 2018 [24])

На основании статистического анализа определено, что в естественных (фоновых) условиях подземным водам горизонта свойственен стабильный гидрокарбонатный кальциево-магниевый состав. Рост неоднородности ионно-солевого состава, в современный период по сравнению с 70–80-ми годами XX века наблюдается на эксплуатируемых участках.

Таким образом, динамика гидрогеохимических условий олигоценового горизонта за последние 30-40 лет проявляется по-разному. На региональном уровне сохраняется устойчивая природная широтная зональность, что свидетельствует о стабильности основных факторов формирования состава вод в естественных условиях.

Однако на локальном уровне, особенно на эксплуатируемых участках, наблюдается усложнение гидрогеохимических процессов. Следовательно, можно утверждать, что при сохранении общей природной гидрогеохимической зональности современные изменения связаны, в первую очередь, с интенсификацией техногенного воздействия на водоносный горизонт.

На основе результатов, приведенных выше, сформулировано первое защищаемое положение:

В пределах западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна для подземных вод олигоценового горизонта установлена стабильная субширотная зональность минерализации, концентраций натрия в сумме с калием, гидрокарбонатов, общего железа, марганца и кремния, отражающая природные условия формирования. Определено, что ведущим техногенным фактором, вызывающим локальные изменения минерализации и ионно-солевого состава вод, является интенсивная эксплуатация водозаборов.

2.5.5. Литологический состав водовмещающих пород

Для исследования влияния литологического состава водовмещающих и контактирующих с подземными водами пород рассмотрен химический состав подземных вод олигоценового горизонта на участке, включающем компактно

расположенные водозаборы с интенсивной эксплуатацией подземных вод олигоценового горизонта [95, 97] (Рисунок 1.1).

Эксплуатация водозаборных скважин на относительно небольшой площади формирует в процессе водоотбора единую гидродинамическую систему, режим фильтрации в которой близок к установившемуся и характеризуется перетеканием из вышележащих отложений.

При этом в эксплуатируемом пласте поддерживается высокая скорость фильтрационного потока, что предполагает повышенные, по сравнению с естественными условиями, скорости протекания гидрогеохимических взаимодействий подземных вод с породами, залегающими над фильтрами водозаборных скважин, а также активизацию взаимодействий с контактирующими снизу глинами тавдинской свиты.

Теоретические основы процессов, происходящих в различных гидрогеохимических системах, условиях седиментации и гидродинамики представлены в работах. Е.В. Посохова [91], С.Л. Шварцева [127], В.П. Зверева [46], С.Р. Крайнова [68], В.Г. Попова, Р.Ф. Абдрахманова [88, 89], А.А. Карцева [54], в которых авторами, в частности, подчеркивается, что максимальный гидрогеохимический эффект на формирование химического состава подземных вод в условиях гипергенеза имеют обменно-адсорбционные процессы, происходящие при взаимодействии подземных вод с пористыми терригенными существенно глинистыми отложениями, являющимися вместилищем обменных катионов.

При этом, наибольшей способностью к ионному обмену обладают глины, а особенно монтмориллониты. Состав обменного комплекса определяется палеогидрогеохимическими условиями бассейна седиментации: в талассогенных бассейнах с солеными водами хлоридного натриевого состава на глинистых частицах адсорбируются натрий и калий, а в континентальных пресноводных – щелочноземельные элементы – кальций и магний.

Таким образом, предполагается, что водовмещающие существенно глинистые и песчаные породы, а особенно, сформировавшиеся в различных

бассейнах седиментации, различным образом оказывают влияние на химический состав подземных вод.

Обычно глинистая составляющая твердой фазы, особенно в кварцевых песчаниках обладает значительно большей удельной радиоактивностью, чем ее собственно твердая фаза (скелетная часть).

Радиоактивность пород в основном связана с содержанием в них таких радиоактивных элементов, как изотоп калия ^{40}K , уран, торий и продукты их распада [66]. Высокая сорбционная способность глин по отношению к этим элементам обусловлена способностью их ионов замещать катионы с низкой валентностью в адсорбционном комплексе.

Поэтому для конкретных типов пород характерно наличие однозначной связи между их радиоактивностью и глинистостью, что широко используется при интерпретации результатов гамма-каротажа (ГК), широко применяемого для исследования фильтрационных свойств пород [65].

Таким образом, физические основы метода гамма-каротажа создают предпосылки его применения для характеристики литологического состава пород, как одного из факторов формирования химического состава подземных вод.

2.5.5.1. Исходные данные

Исходными данными для настоящего исследования, являлись 44 лабораторных анализа проб воды олигоценового горизонта из 27 водозаборных скважин, расположенных на 20 участках за период 2016-2024 гг. Перечень анализируемых химических показателей включает водородный показатель (рН), натрий в сумме с калием ($\text{Na}^+\text{+K}^+$), кальций (Ca^{2+}), магний (Mg^{2+}), гидрокарбонаты (HCO_3^-), хлориды (Cl^-) и сульфаты (SO_4^{2-}). Микрокомпоненты, за исключением экстремальных значений, определены в следовых количествах, поэтому в настоящем исследовании не анализировались.

Химический анализ проб выполнен лабораторией физико-химических методов исследований ЗСФ ИНГГ СО РАН (г. Тюмень). Для детального

литологического расчленения гидрогеологического разреза использованы данные гамма-каротажа водозаборных скважин, выполненного стандартной аппаратурой типа СРК-76L с масштабом записи 1:200.

2.5.5.2. Методы исследования

Методы исследования включали подготовку гидрогеохимических данных, характеристику литологического состава пород на основании геофизического каротажа, расчет гидрогеохимических параметров, анализ их взаимосвязи с численными показателями литологического состава подземных вод.

Исходя из факта нахождения объекта исследования в зоне потенциального техногенного влияния, подготовка гидрогеохимических данных включала отбраковку единичных анализов проб воды, имеющих признаки смешения с высокоминерализованными водами (высокие значения хлоридов и бромидов, нехарактерный для естественных условий ионно-солевой состав вод).

В качестве характеристики общей минерализации принята сумма основных ионов (ввиду определения в разные периоды значения либо сухого остатка, либо расчетной минерализации), для классификации подземных вод выполнен расчет эквивалентных значений основных ионов ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- и SO_4^{2-}).

Детальное расчленение литологического разреза выполнялось при интерпретации кривых гамма-каротажа (ГК).

На каротажной диаграмме основным признаком глинистых отложений является положительная аномалия кривых записи ГК и максимальные значения параметра, соответствующие интервалу залегания глин тавдинской свиты (опорный пласт глин). Для песков отмечается обратная зависимость – отрицательная аномалия кривых ГК и наименьшие значения параметра в наиболее песчаном интервале олигоцен-четвертичных отложений (опорный пласт песков); переходные значения интерпретируются как интервалы переслаивания песчано-алеврито-глинистых отложений (Рисунок 2.18).

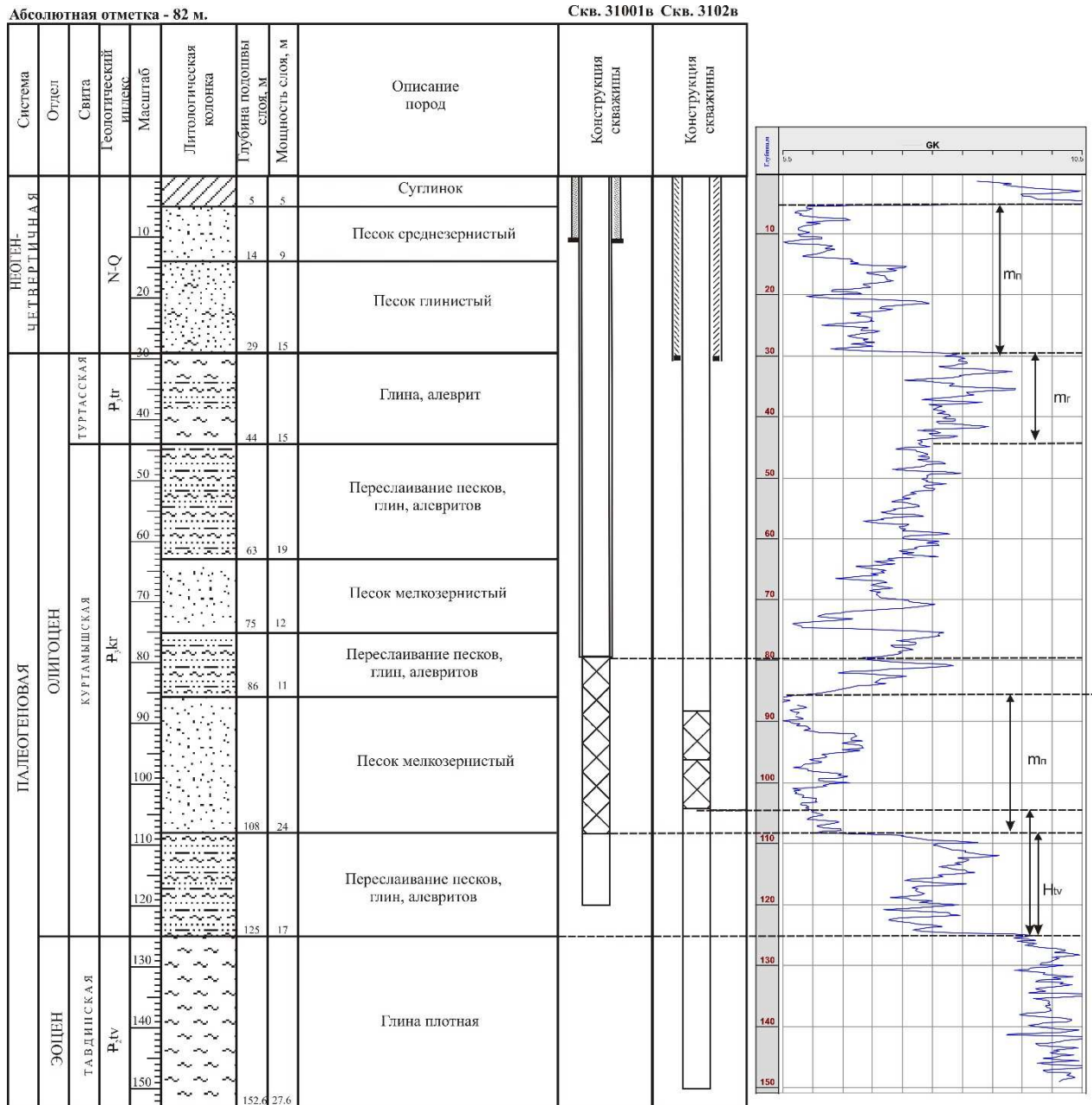


Рисунок 2.18 – Литологическое расчленение разреза на основе интерпретации кривой гамма-каротажа

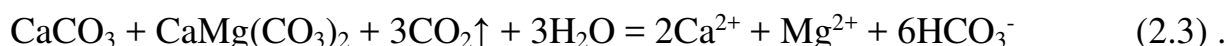
На основе интерпретации кривых ГК определялись общая мощность соответственно песков (m_p) и глин (m_r), залегающих выше фильтров скважин, вычислялось расстояние до залегающего ниже глинистого водоупора тавдинской свиты (H_{tv}) (Рисунок 2.18).

Для подготовки изучения статистической взаимосвязи показателей химического состава подземных вод и параметров, полученных по данным

интерпретации геофизического каротажа, вся совокупность гидрогеохимических данных разделялась на группы по значениям каждого из полученных на основе интерпретации признаков (мп, мг, Нtv) для вычисления средних значений показателей химического состава подземных вод в каждой группе.

Оценка возможности протекания химических реакций при взаимодействия подземных вод с горными породами включала следующее.

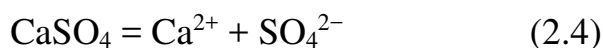
Известно, что растворение карбонатных пород (кальцит, доломит) происходит согласно следующей реакции:



Для оценки неравновесности подземных вод с карбонатными породами по методу Дебая-Гюккеля [29] выполнен расчет индекса насыщенности (i) подземных вод.

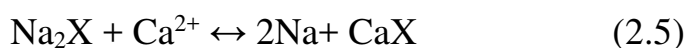
Более высокие значения i свидетельствуют о меньшей насыщенности вод карбонатными минералами и, соответственно, о большей способности последних к растворению (обогащению вод ионами Ca^{2+} , Mg^{2+} и HCO_3^-). Напротив, более низкие значения i указывают на большее насыщение подземных вод относительно карбонатов.

Растворение подземными водами сульфатных пород (гипса и ангидрита) предполагает протекание следующей химической реакции:



Критерием возможности протекания процессов растворения карбонатных и сульфатных минералов, таких как кальцит, доломит и гипс согласно уравнениям (2.3) и (2.4), является отношение концентрации ($r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}$) к ($r\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$).

Если данное соотношение близко к 1, то Ca^{2+} и Mg^{2+} должны поступать в подземные воды в результате растворения карбонатных и сульфатных пород. Соотношение больше 1 указывает на растворение силикатных минералов, в то время как соотношение меньше 1 указывает на то, что процессы фильтрации сопровождаются ионообменными адсорбционными процессами [137] по следующему уравнению:



Гипотеза о том, что катионный обмен является одним из геохимических процессов, контролирующих химические свойства подземных вод, проверяется соотношениями между $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ и Cl^- и между $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ и $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$. Если катионный обмен существенно влияет на химический состав подземных вод, то угловой коэффициент уравнения регрессии (2.6) будет отрицательным и близким к (-1) [137].

$$[(r\text{Na}^+ + r\text{K}^+) - r\text{Cl}^-] / [(r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}) - (r\text{HCO}_3^- + r\text{SO}_4^{2-})] \quad (2.6)$$

Для оценки возможности протекания реакций ионного обмена между подземными водами и взаимодействующими с ними горными породами также использовался индекс Schoeller (CAI) [144], рассчитанный по следующей формуле:

$$\text{CAI} = (\text{Cl}^- - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)) / \text{Cl}^- \quad (2.7)$$

Отрицательное значение CAI указывает на возможность протекания процесса катионного обмена согласно уравнению (2.5) в прямом направлении, характеризующегося десорбцией Na^+ и одновременным поглощением Ca^{2+} или Mg^{2+} . И наоборот, положительное значение CAI указывает на обратный процесс ионного обмена согласно уравнению (2.5).

2.5.5.3. Результаты исследования

По данным геолого-съёмочных работ масштаба 1:200 000, проведенных в пределах площади листа Р-41 [148] известно, что преобладающая (52-73 %) мелкозернистая фракция песков куртамышской свиты и четвертичных отложений тобольской свиты представлена кварцем (90-92 %) и полевыми шпатами (7-8 %).

Остальные фракции представлены существенно глинистыми разностями (Таблица 2.9).

Таблица 2.9 – Литолого-минеральный состав песков толщи олигоцен-четвертичных отложений, %

Возраст	преобладающая фракция	минералогический состав легкой фракции		
	Размер частиц 0.25-0.1 мм	кварц	полевой шпат	обломки пород
Q	52	92	7	1
P ₃ kr	73	90	8	2

В составе глинистой фракции эоцен-четвертичных отложений в различных соотношениях содержатся монтмориллонит, хлорит, каолинит и гидрослюды (Рисунок 2.19).

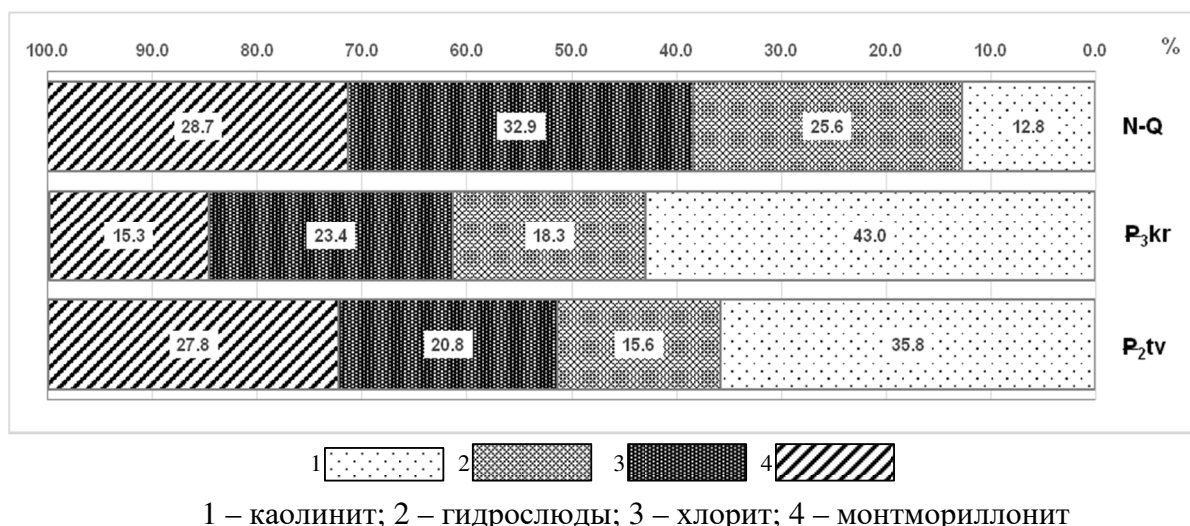


Рисунок 2.19 – Минеральный состав глинистой фракции эоцен-четвертичных отложений, %

по данным геолого-съемочных работ

Таким образом, осадочный комплекс пород эоцен-четвертичного возраста в районе исследования характеризуется близким минеральным составом алюмосиликатов.

Вместе с тем, различные условия осадконакопления в олигоцен-четвертичное (континентальный бассейн) и тавдинское время (талассогенный бассейн) (Рисунок 1.4), (Рисунок 1.5) [126] дают основание предполагать, что взаимодействие подземных вод с породами различного литологического состава и

образованными при разных условиях седиментации, будет различным образом отражаться на их химическом составе.

Химические анализы, использованные в настоящем исследовании, характеризуют подземные воды олигоценового горизонта как пресные (минерализация 75-475 мг/дм³), от нейтральных до умеренно щелочных (рН 6,1-8,9), от очень мягких до умеренно жестких (общая жесткость 0,7-5,3 мг-экв/дм³), воды относятся к классу гидрокарбонатных и различным группам по катионному составу I типа (по О.А. Алекину). Степень вариативности показателей ионно-солевого состава очень высокая (коэффициент вариации – 38-191 %) (Таблица 2.10), (Рисунок 2.20), что свидетельствует о сложных процессах гидрогеохимических взаимодействий и потенциальном влиянии техногенеза.

Таблица 2.10 – Показатели химического состава подземных вод олигоценового горизонта

Показатель	рН	Общая жесткость, мг-экв/дм ³	Содержание основных ионов, мг/дм ³							Минерализация
			Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	
минимальное	6,1	0,7	2,1	1,3	6,7	3,0	0,2	0,5	55,0	75
максимальное	8,9	5,3	76,0	5,4	66,0	24,5	23,5	37,4	373,3	475
среднее	6,6	1,9	21,3	2,6	19,4	8,4	2,2	5,5	160,0	219
стандартное отклонение	0,5	1,2	19,8	1,0	15,5	5,9	4,1	7,0	91,5	120
коэффициент вариации	7	65	93	38	80	70	191	129	57	55

На основании значений коэффициентов корреляции 0,8-1,0 (Таблица 2.11) можно заключить, что значение минерализации подземных вод в большей степени связано с содержанием ионов HCO₃⁻, Ca²⁺ и Mg²⁺, в меньшей степени (коэффициент корреляции 0,5) – с содержанием ионов Na⁺ и K⁺.

Таблица 2.11 – Матрица коэффициентов корреляции основных ионов и минерализации подземных вод, мг/дм³

Показатель	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
Минерализация	0,5	0,5	0,8	0,8	-0,1	0,3	1,0

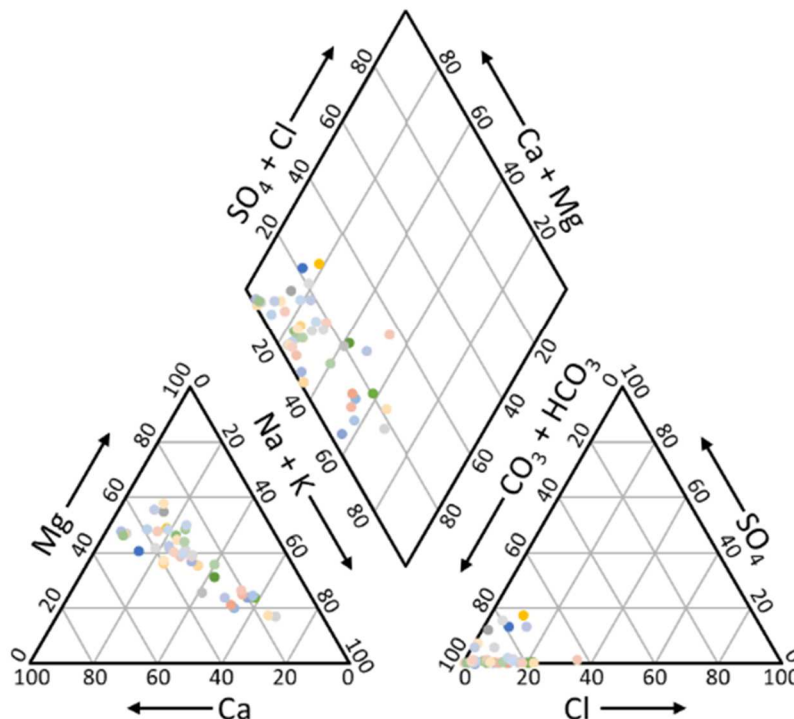


Рисунок 2.20 – Диаграмма классификации подземных вод Пайпера

Сильная корреляционная зависимость между эквивалентными содержаниями Ca^{2+} и Mg^{2+} и HCO_3^- (коэффициент корреляции 0,8-0,9) (Таблица 2.12), предполагает, что ионы кальция и магния в основном происходят из широко распространенного растворения карбонатных пород (кальцит CaCO_3 , доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

Таблица 2.12 – Матрица коэффициентов корреляции основных ионов подземных вод, мг-экв/дм³

Показатель	$r\text{Na}^+$	$r\text{K}^+$	$r\text{Ca}^{2+}$	$r\text{Mg}^{2+}$	$r\text{SO}_4^{2-}$	$r\text{Cl}^-$
$r\text{K}^+$	0,2					
$r\text{Ca}^{2+}$	-0,1	0,4				
$r\text{Mg}^{2+}$	-0,1	0,4	1,0			
$r\text{SO}_4^{2-}$	-0,1	0,2	-0,1	-0,1		
$r\text{Cl}^-$	0,7	0,2	-0,1	-0,2	0,1	
$r\text{HCO}_3^-$	0,4	0,5	0,9	0,8	-0,1	0,2

Об этом же свидетельствует положительная величина индекса насыщенности относительно карбонатов (0,3-3,0) (Таблица 2.13).

Таблица 2.13 – Значения индексов насыщенности относительно карбонатов (i) и Schoeller (CAI)

Показатель	Индекс насыщенности (i)	Индекс Schoeller (CAI)
минимальное	0,3	-101,7
максимальное	3,0	-1,4
среднее	1,9	-14,8
стандартное отклонение	0,6	-21,2
коэффициент вариации	31	143

Однако, как указано выше, минералогический состав водовмещающих пород толщи эоцен-олигоценых отложений представлен в основном алюмосиликатами (кварц-полевошпатовыми песками и глинистыми продуктами их разложения).

Анализ соотношения $(rCa^{2+}+rMg^{2+})$ и $(rHCO_3^- + rSO_4^{2-})$ показывает, что оно меньше 1 (Рисунок 2.21а), а соотношение концентраций ионов по уравнениям 2.3 и 2.4 (Рисунок 2.21б) близко к линейному распределению, но располагается снизу от линии 1:1 и угловой коэффициент уравнения регрессии (2.6) (-0,9609) очень близок к (-1), что указывает на то, что на химический состав подземных вод также оказывают влияние процессы ионного обмена. Об этом же свидетельствуют отрицательные значения индекса Schoeller (CAI) (2.7), составляющие от (-101,7) до (-1,4) (Таблица 2.13).

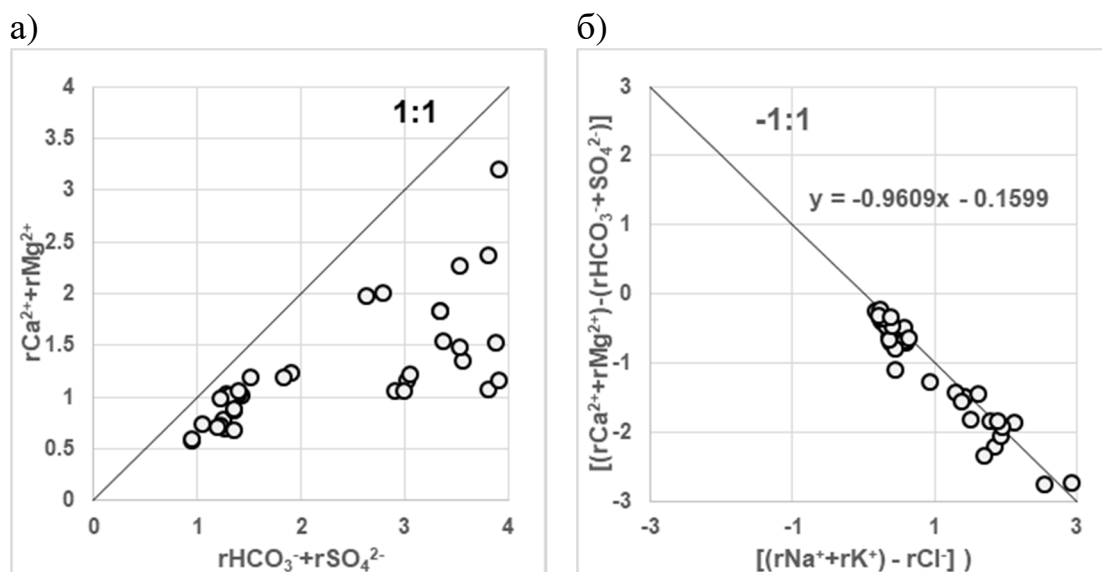


Рисунок 2.21 – Графики соотношения ионов: а) $(rHCO_3^- + rSO_4^{2-})$ и $(rCa^{2+}+rMg^{2+})$; б) $[(rNa^++rK^+) - rCl^-]$ и $[(rCa^{2+}+rMg^{2+})-(rHCO_3^-+SO_4^{2-})]$

Корреляция средних значений мощности отложений от нижней части фильтра скважин до кровли тавдинской свиты (Нtv) и средних значений содержания Na^+K^+ (в %-экв) в составе катионов и Cl^- в составе анионов позволяет отметить значимую обратную статистическую связь (коэффициенты корреляции 0,7-0,8): доля ионов натрия, калия и хлора в ионно-солевом составе подземных вод закономерно возрастает по мере приближения интервала опробования (фильтра скважины) к глинам тавдинской свиты (Таблица 2.14), (Рисунок 2.22).

Таблица 2.14 – Средние значения относительного содержания основных ионов в подземных водах в группах по величине Нtv*

Интервал Нtv*, м	Количество анализов	Среднее Нtv*, м	Содержание основных ионов, %-экв/дм ³					
			Na^+K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}
0-3	1	3	62	26	12	9	91	0
3-7	3	7	55	27	18	7	93	1
7-8	1	8	40	34	26	12	88	0
8-10	2	10	40	40	20	9	90	1
10-20	18	15	39	35	26	6	92	2
20-30	9	25	35	38	27	7	90	3
30-40	6	31	38	36	27	2	98	0
40-50	2	48	17	39	43	1	94	5
50-70	2	65	23	39	38	4	84	12

Данная тенденция отвечает процессам ионного обмена Ca^{2+} , Mg^{2+} на Na^+K^+ , а HCO_3^- и SO_4^{2-} на Cl^- , свойственным взаимодействиям подземных вод и глинистых отложений (монтмориллонитов), а также соответствует нисходящей вертикальной гидрогеохимической зональности для подземных вод артезианских бассейнов, проявляющейся в росте содержания Cl^- и Na^+ с увеличением глубины интервала опробования.

Корреляционный анализ выявил значимую отрицательную связь между мощностью глин (mг) и минерализацией подземных вод (коэффициент корреляции 0,9).

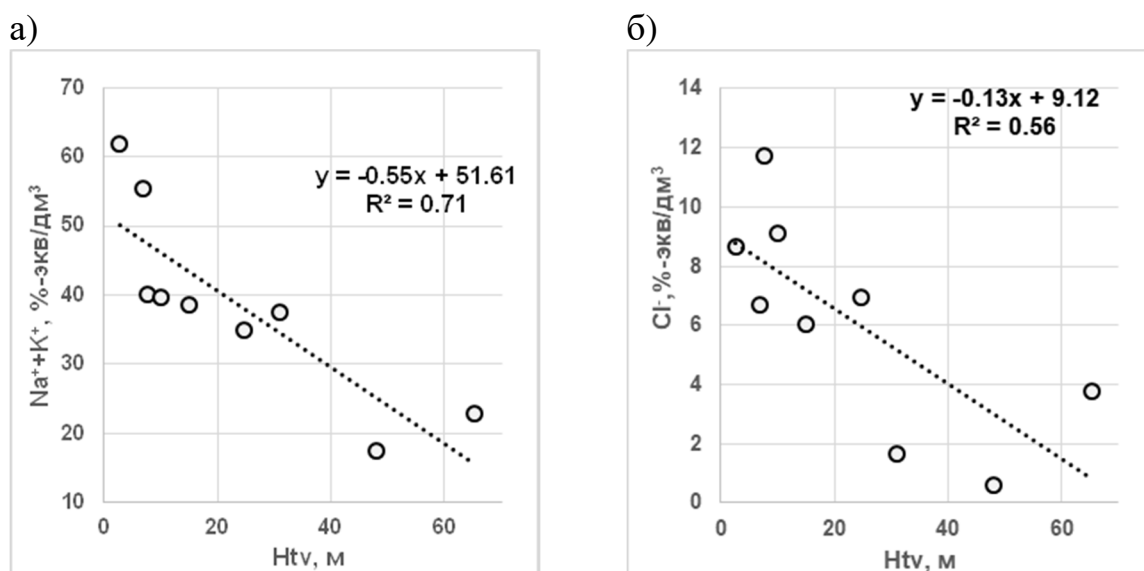


Рисунок 2.22 – Статистическая связь средних значений: а) Htv и Na^+K^+ ;
б) Htv и Cl^-

Установлено, что с увеличением доли глин в разрезе перекрывающей толщи (до верха фильтра скважин) минерализация закономерно снижается за счет уменьшения содержания всех основных ионов (Таблица 2.15), (Рисунок 2.23а).

Кроме того, прослеживается положительная корреляция (коэффициент корреляции 0,8) мощности глин с индексом насыщенности вод карбонатами (i) (Рисунок 2.23 б) и индекса насыщенности с минерализацией (коэффициент корреляции 0,97).

Таблица 2.15 – Средние значения показателей ионно-солевого состава подземных вод в группах по величине mг^*

Интервал mг^* , м	Количество анализов	Среднее mг^* , м	Содержание основных ионов, $\text{mг}/\text{дм}^3$								Индекс насыщенности, i
			минерализация	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	
до 15	8	15	353	27,0	3,1	37,3	14,4	0,6	4,8	265,9	1,3
15-20	9	18	206	26,5	2,5	13,3	7,0	4,5	7,3	144,9	2,0
20-25	17	23	210	19,8	2,6	18,6	8,4	2,4	4,9	153,8	2,0
25-30	7	27	144	16,1	2,7	11,8	4,8	1,1	5,3	101,7	2,1
30-35	2	33	148	12,7	2,5	13,8	6,4	0,5	7,9	104,0	2,3
35-40	1	36	92	6,0	1,6	7,7	4,0	0,5	0,6	72,0	2,4

mг^* – мощность глин в перекрывающей толще отложений

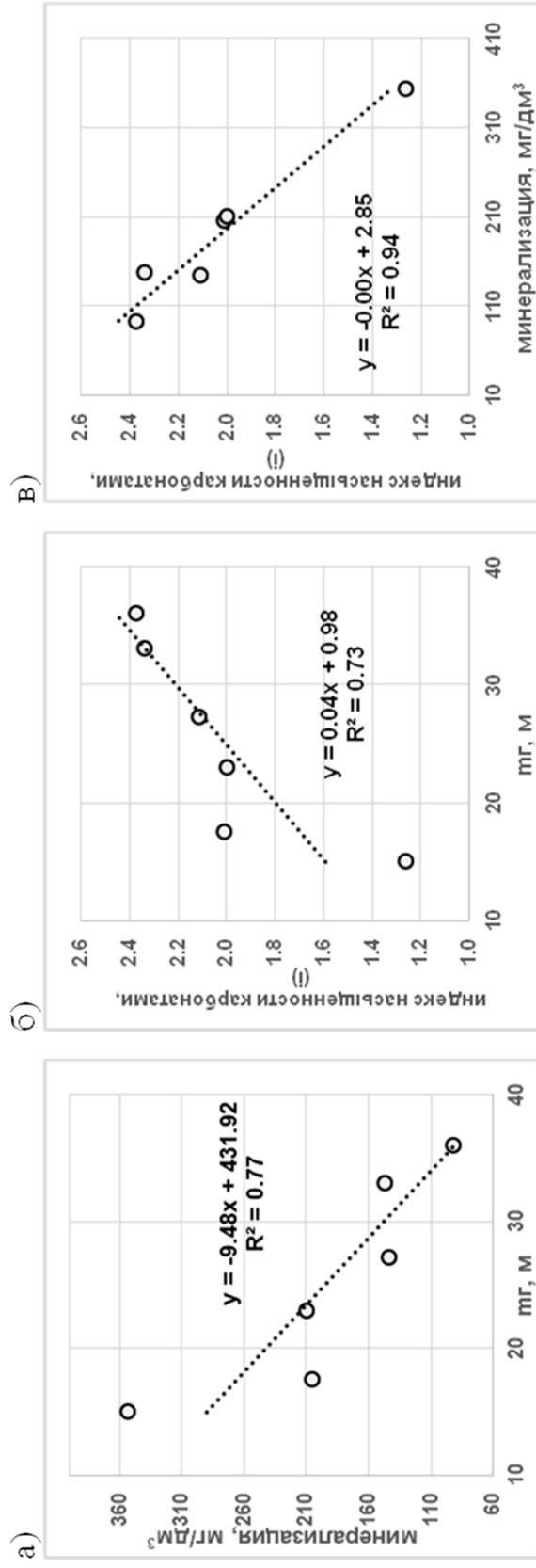


Рисунок 2.23 – Статистическая связь средних значений по группам: а) мг и минерализации подземных вод; б) мг и индекса насыщенности карбонатами, (i); в) минерализации и индекса насыщенности карбонатами, (i).

Обратная зависимость мощности глинистой составляющей разреза (мг) и минерализации подземных вод может объясняться высокой способностью глин к адсорбции, что позволяет им задерживать растворенные в подземных водах вещества, играя роль естественных фильтров, снижая минерализацию и повышая растворяющую способность подземных вод.

Корреляция значений m_p (мощность песков) и минерализации подземных вод (Рисунок 2.24 а) позволяет отметить значимую (коэффициент корреляции 0,9 положительную связь данных показателей: так, с увеличением мощности песков в общей мощности перекрывающих отложений до верха фильтра скважин, повышается значение минерализации подземных вод за счет общего увеличения содержания всех составляющих ее сумму показателей, происходит увеличение относительного содержания $Na^+ + K^+$ (коэффициент корреляции 0,8) (Таблица 2.16), (Рисунок 2.24б) и снижается индекс насыщенности карбонатами (i) (коэффициент корреляции 0,8) (Рисунок 2.24в).

Прямая связь величины мощности песчаной составляющей разреза (m_p) и минерализации подземных вод может объясняться тем, что песчаные породы имеют хорошую проницаемость, обеспечивая высокую скорость фильтрации и повышенную способность подземных вод к выщелачиванию химических элементов из пород, повышая, тем самым, минерализацию подземных вод и снижая их растворяющую способность, о чем свидетельствует снижение значения индекса насыщенности вод карбонатами.

Прямая связь значений мощности песков (m_p) с относительным содержанием $Na^+ + K^+$ может объясняться, как гидролизом полевых шпатов, так и ионным обменом Ca^{2+} и Mg^{2+} подземных вод с катионным комплексом глинистых (монтмориллонитовых) включений в песках.

Таблица 2.16 – Средние значения показателей ионно-солевого состава подземных вод в группах по величине тп*

Интервал тп*, м	Количество анализов	Среднее значение тп*, м	Содержание основных ионов, мг/дм ³								%о-экв/дм ³ Na ⁺ +K ⁺	Индекс насыщенности, i
			Минерализация	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻		
менее 10	3	9	171	5,3	2,9	17,1	9,9	7,1	1,2	127,3	18	2,0
10-15	6	13	94	7,6	1,8	8,7	3,6	2,0	2,8	67,0	35	2,3
15-20	2	19	107	4,1	2,8	10,2	6,1	8,7	2,0	73,0	23	2,3
20-25	2	24	211	24,0	3,1	15,7	6,0	12,1	7,3	143,0	40	2,2
25-30	4	26	164	21,4	2,5	12,3	5,2	1,2	12,1	109,6	44	1,9
30-35	5	34	195	17,5	2,9	16,9	7,7	0,5	5,0	145,0	37	2,0
35-40	15	38	284	17,4	2,8	31,1	12,9	0,7	3,0	216,4	29	1,8
40-45	4	44	259	47,1	2,6	12,7	6,0	0,4	8,1	182,3	66	1,6
45-55	1	55	305	48,1	3,8	19,9	5,9	0,6	11,8	215,0	75	1,7
55-60	2	56	350	73,5	2,5	13,4	5,5	0,5	19,8	235,0	60	1,5

тп* – мощность песков в перекрывающей толще отложений

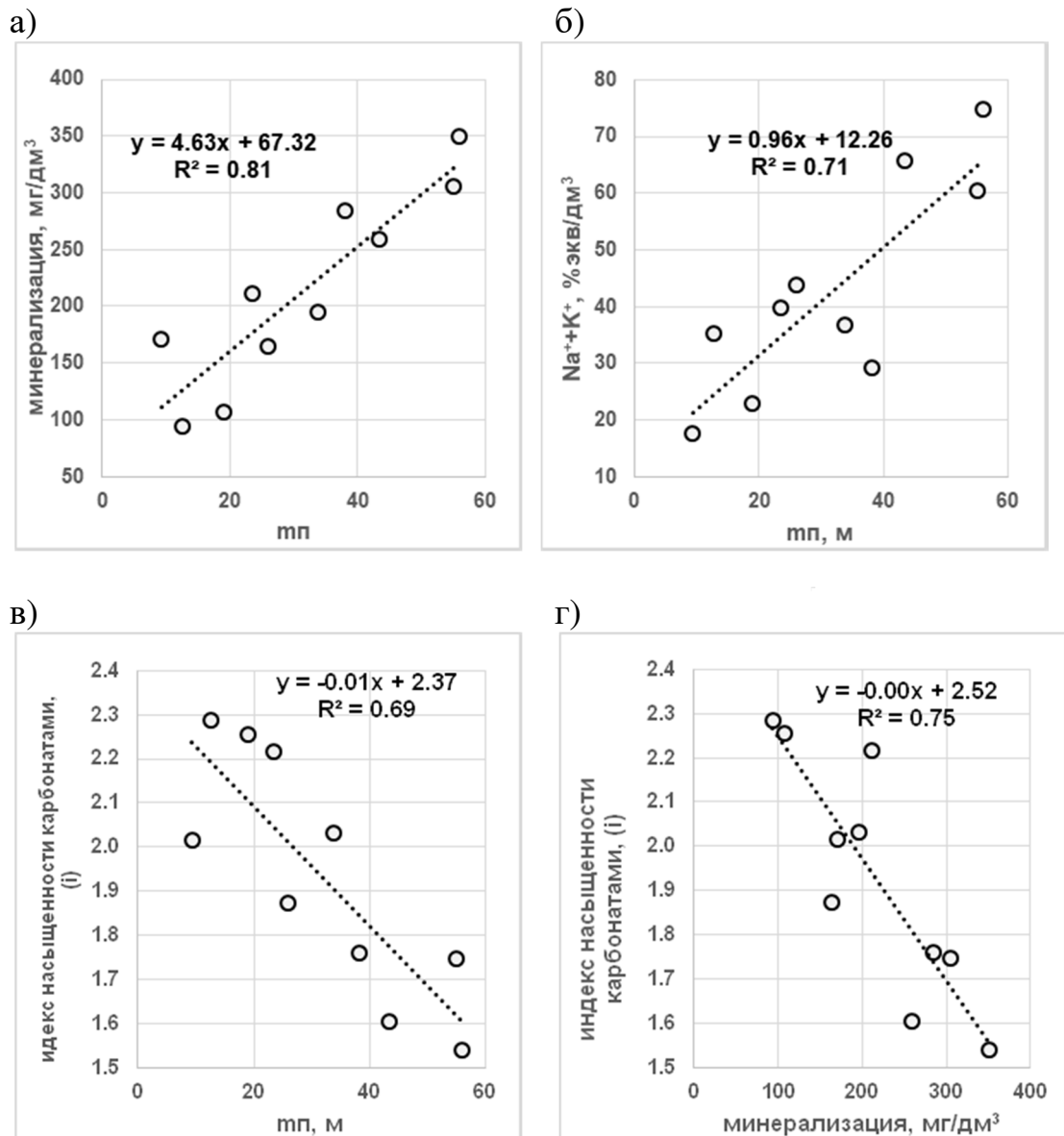


Рисунок 2.24 – Статистическая связь средних значений: а) мп и минерализации; б) мп и $Na^+ + K^+$; в) мп и и индекса насыщенности карбонатами, (i); г) минерализации и индекса насыщенности карбонатами, (i)

В то же время, принимая во внимание техногенный фактор, песчаные породы, обеспечивая высокую скорость фильтрации, способствуют, тем самым, высокой скорости распространения потенциального загрязнения подземных вод, как с поверхности, так и в поле фильтрации, за счет подтягивания вод техногенного происхождения, имеющих высокую минерализацию и хлоридный натриевый состав.

Таким образом, в результате исследования влияния литологического состава водовмещающих и контактирующих с подземными водами пород определено, что:

- соотношение основных ионов солевого состава подземных вод свидетельствует, что при взаимодействии подземных вод и водовмещающих пород протекают процессы разложения карбонатов, гидролиз алюмосиликатов и ионный обмен;

- подстилающие водоносный горизонт глины тавдинской свиты способствуют ионному обмену Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- и SO_4^{2-} подземных вод на Na^+K^+ и Cl^- ионного комплекса глин, что объясняется морскими условиями осадконакопления.

- с увеличением мощности существенно глинистых отложений в толще водовмещающих пород, залегающих над фильтрами скважин, снижается минерализация подземных вод олигоценового горизонта, с увеличением мощности песков минерализация увеличивается, что связано с современными фильтрационно-адсорбционными процессами в литологически неоднородной толще;

- впервые установленные зависимости определяют научную новизну исследования;

- использование геофизического метода гамма-каротажа для детального литологического расчленения песчано-глинистой толщи гидрогеологического разреза показало результативность его применения при изучении химического состава подземных вод.

На основе данных результатов сформулировано второе защищаемое положение:

Обоснованы зависимости химического состава подземных вод олигоценового горизонта от литологии водовмещающих отложений: относительное содержание ионов натрия, калия и хлора определяется степенью контакта с глинами тавдинской свиты, а минерализация – соотношением

мощностей глинистых и песчаных прослоев в перекрывающей эксплуатируемый интервал толще.

2.6. Выводы

На основе полученных результатов определено, что расположение объекта исследования в краевой части Западно-Сибирской плиты, приуроченность территории к гумидной зоне, обуславливают формирование пресных, разнотипных по ионно-солевому составу подземных вод.

Минерализация и обогащение органическим веществом подземных вод горизонта изменяется по площади закономерно в соответствии с геолого-структурным планом района и физико-географической зональностью.

Факторами формирования ионно-солевого состава подземных вод, повышенных концентраций в них кремния, общего железа, аммония и марганца, закономерностей изменения данных показателей по площади, являются особенности минерального состава водовмещающих пород олигоценного горизонта и гидрогеохимические взаимодействия в кайнозойских отложениях в целом.

В химическом составе подземных вод находит отражение разнонаправленное влияние процессов взаимодействия подземных вод с песчаными и глинистыми отложениями, залегающими, как над фильтрами водозаборных скважин, так и подстилающими водоносный пласт снизу. Движущей силой ускорения протекания гидрогеохимических взаимодействий является водоотбор в процессе эксплуатации скважин.

Нарушение естественного гидрогеохимического режима приводит к изменению минерализации и ионно-солевого состава вод, а также определяет появление экстремальных значений концентраций компонентов в составе подземных вод на локальных участках.

В целом, при прогнозе показателей качества подземных вод олигоценного горизонта на территории исследования для их дальнейшего использования следует учитывать, что особенности и закономерности пространственного

изменения химического состава подземных вод горизонта обусловлены совместным действием физико-географических, геологических, геодинамических, и техногенных факторов, основными из которых являются приуроченность к краевой части Западно-Сибирской плиты, а также техногенное изменение естественного гидрогеохимического режима подземных вод в процессе их эксплуатации.

Перспективным направлением дальнейших исследований является изучение техногенного влияния на показатели качества основного источника питьевого водоснабжения, в том числе в результате интенсивного сосредоточенного отбора воды из скважин, изучение процессов взаимодействия воды с породами с применением современных методов термодинамических расчетов равновесия подземных вод с карбонатами, алюмосиликатами и другими минералами.

3. МЕТОДИКА ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВОДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

В настоящее время, в сложившейся практике геофизические методы исследования скважин, базирующиеся на современных физических методах исследования горных пород, используются для изучения геологического строения недр, выявления и оценки запасов углеводородного сырья, при проектировании, контроле и анализе разработки месторождений нефти и газа и технического состояния скважин [66].

Углубленная обработка промыслово-геофизической информации, получаемой в процессе бурения и эксплуатации скважин, позволяет решить большой спектр геологических задач. Значительную часть сведений о вскрытых скважинами отложениях получают при интерпретации данных геофизических исследований скважин (ГИС), которые вместе с материалами литологического и палеонтологического изучения образцов горных пород и гидродинамических испытаний пластов используются для создания литолого-стратиграфических описаний разрезов скважин, характеристики каждого из вскрытых скважиной пластов, построения схем корреляции, для оценки фильтрационно-емкостных параметров пластов и т. п.

Таким образом, материалы ГИС являются важнейшим источником информации о геологическом строении и литологическом составе и свойствах горных пород.

Установление зависимости геофизических параметров и фильтрационно-емкостных свойств горных пород основано на детальном изучении как их водно-физических свойств, так и соответствующих геофизических характеристик [34, 39, 55, 64, 65-67, 74, 83].

История развития ГИС начинается с середины прошлого века, когда в артезианских скважинах были выполнены первые температурные измерения. Что касается ядерно-физических методов, позволяющих исследовать скважины как

до, так и после их обсадки стальной колонной, началось в 1933-1934 гг. Г.В. Горшковым, Л.Ч. Курбатовым, А.Г. Граммаковым, В.А. Шпаком, которые предложили метод, основанный на измерении естественной радиоактивности пород – гамма-каротаж. Радиоактивный каротаж в СССР получил широкое развитие с 1951 г., в связи с освоением аппаратуры и методик, разработанных Б.Б. Лапуком, Г.Н. Флеровым, Л.С. Полаком, В.Н. Дахновым и другими [52].

В практике геологических работ для детального литологического расчленения разреза, выделения водоносных и водоупорных пластов с определением их мощности, оценки фильтрационно-емкостных свойств пород, степени взаимосвязи пластов, а также минерализации и температуры подземных вод обычно применяется комплекс ГИС. В него входят: электрокаротаж (методы кажущегося сопротивления (КС), естественной поляризации (ПС), бокового каротажного зондирования (БКЗ) и резистивиметрии), радиоактивный каротаж (гамма-каротаж (ГК), нейтронный гамма-каротаж (НГК)), каротаж методом изотопов (МИ), гамма-гамма-каротаж (ГГК), а также расходометрический и термометрический виды каротажа.

Начиная с 50-60-х годов прошлого столетия и по настоящее время, на территории исследования с различным масштабом и скоростью записи выполнен значительный объем геофизических исследований нефтяных разведочных, структурных, картировочных, поисковых и водозаборных скважин, являющийся ценным источником сведений о литологическом составе пород водоносного олигоценового горизонта. При этом основной объем каротажа приходится на скважины нефтяного разведочного бурения, в которых в интервале отложений олигоцена, ГИС представлены исключительно гамма-каротажем (ГК).

Несмотря на то, что наиболее эффективно метод ГК применяется в комплексе с другими методами, например, методом самопроизвольной поляризации (ПС) [67], в силу его высокой информативности, характеризующей толщину осадочных пород, сложенную различными по степени глинистости породами [71, 72, 142], отдельное использование данного метода, в условиях

отсутствия всего комплекса ГИС, для характеристики фильтрационных свойств пород вполне оправдано.

Применение метода естественной радиоактивности широко используется для определения фильтрационных свойств водоносных горизонтов за рубежом [133, 135, 139-141, 146].

В нашей стране метод широко используется для определения коллекторских свойств пород глубоких водоносных и нефтегазоносных пластов [64, 65, 67, 119, 122]. Однако, для горизонтов пресных вод Западной Сибири, использование метода в научных публикациях не представлено. В сложившейся практике гидрогеологических работ каротаж скважин используется для определения интервала установки фильтров водозаборных скважин и детального расчленения литологического разреза, при этом какие-либо численные характеристики не определяются, зависимости геофизических параметров и параметров фильтрационных свойств пород олигоценного горизонта, не устанавливаются в силу отсутствия или разрозненности исходных данных.

В основе метода гамма-каротажа лежит отличие значений измерений радиоактивности различных по литологическому составу пород, а особенно песков и глин.

Установлено, что обогащение осадочных пород радиоактивными элементами происходит вследствие их осаждения или адсорбции тонкодисперсными и коллоидными частицами, поэтому благодаря большой удельной поверхности глинистые породы в процессе осадконакопления сорбируют большее количество радиоактивных элементов и характеризуются повышенными показаниями на диаграммах ГК.

Для них характерны калийсодержащие гидрослюдистые минералы, обеспечивающие нахождение в них урана и тория в сорбированной форме. В обломочной части песков, представленной кварцевым, кварц-полевошпатовым и кремнисто-кварцевым материалом, радиоактивные элементы присутствуют в небольших количествах [120].

Поэтому метод ГК в определенной мере отражает геометрию пустотного пространства пород и обнаруживает устойчивую связь с их фракционным составом.

Известно, что глинистость пород влияет на их фильтрационные свойства [6, 14, 71, 81], которые, в свою очередь, определяют каптажные характеристики водозаборных скважин.

Основными гидрогеологическими параметрами, используемыми при прогнозных расчетах водозаборов и отражающими сумму факторов, от которых зависит производительность водозаборной скважины являются ее удельный дебит (q , $\text{дм}^3/(\text{с} \times \text{м})$) – величина отношения дебита скважины к понижению уровня при откачке, а также водопроницаемость водовмещающих пород (km , $\text{м}^2/\text{сут}$) – величина произведения коэффициента фильтрации пород на мощность водоносного горизонта.

В условиях отсутствия данных лабораторных определений коэффициентов фильтрации, пористости и проницаемости пород водоносного горизонта, удельный дебит скважин и водопроницаемость являются безальтернативными гидрогеологическими характеристиками фильтрационных свойств водовмещающих пород.

3.1. Материалы исследования

Изучение статистических связей параметров, полученных по данным гамма-каротажа, гидродинамических испытаний и лабораторного исследования водно-физических свойств пород проводилось на материалах разведки Советского, Ханты-Мансийского, Октябрьского, Заводоуковского месторождений подземных вод и в Шаимском НГР [94, 99, 100, 101, 103], содержащихся в фондовых геологических отчетах (Таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Исходные материалы для исследования

Исходные данные	Количество скважин	Количество проб пород	Назначение скважин	Вид данных	Авторская обработка
Советское месторождение пресных подземных вод	18		водозаборные	гамма-каротаж	интерпретация
				удельный дебит	использование значений
	1	11		гранулометрический состав	определение суммы относительного содержания глинистых частиц
Шаимский НГР	10	-	водозаборные	гамма каротаж	интерпретация
	131		нефтяные разведочные	удельный дебит	использование значений
				гамма каротаж	интерпретация
Октябрьское месторождение пресных подземных вод	12	68	водозаборные	гранулометрический состав	классификация, определение медианного диаметра
		68		гамма -каротаж	интерпретация
		55		коэффициент фильтрации,	использование значений
Ханты-Мансийское месторождение пресных подземных вод	7	65	водозаборные	гранулометрический состав,	классификация, определение медианного диаметра
		49		гамма -каротаж	интерпретация
				коэффициент фильтрации	использование значений
Заводоуковское месторождение пресных подземных вод	15	-	водозаборные	коэффициент водопроницаемости	определение в соавторстве
	8	-	водозаборные	гамма-каротаж	интерпретация
	1	16	водозаборная	гранулометрический состав	определение суммы относительного содержания глинистых частиц

3.2. Методы исследования

Методы исследования включали:

1. Получение численных характеристик пород водоносного горизонта:
 - величины двойного разностного параметра естественной радиоактивности – на основе интерпретации данных гамма-каротажа;
 - величины медианного диаметра частиц и коэффициента фильтрации – на основе лабораторных исследований водно-физических свойств пород;
 - коэффициента водопроницаемости пород и удельного дебита скважин – на основе гидродинамических испытаний скважин.
2. Корреляцию значений полученных параметров, оценку ее статистической значимости [40, 43, 90].
3. Прогноз медианного диаметра частиц, коэффициента фильтрации пород на основании известных значений двойного разностного параметра естественной радиоактивности и уравнений регрессии, определение относительной погрешности прогноза.
4. Построение карты пространственного изменения двойного разностного параметра естественной радиоактивности и глубин залегания перспективных интервалов эксплуатации водоносного олигоценового горизонта в Шаимском НГР.

3.2.1. Интерпретация кривых гамма-каротажа

Для количественной характеристики двойного разностного параметра естественной радиоактивности пород горизонта выполнялась интерпретация кривых гамма-каротажа. На каротажной диаграмме основным признаком глинистых отложений является положительная аномалия кривых записи ГК и максимальные значения параметра, соответствующие интервалу залегания глин тавдинской свиты (опорный пласт глин). Для песков отмечается обратная зависимость – отрицательная аномалия кривых ГК и наименьшие значения

параметра в наиболее песчаном интервале олигоценых отложений (опорный пласт песков); переходные значения интерпретировались как интервалы переслаивания песчано-алеврито-глинистых отложений (Рисунок 3.1), (Рисунок 3.2), (Рисунок 3.3).

Для получения численной геофизической характеристики литологических разностей разреза, возможности сопоставления полученных значений по разным скважинам и исключения при этом влияния условий измерений, применялось нормирование значений ГК с использованием величины двойного разностного параметра естественной радиоактивности (ΔJ_γ , отн. единицы.) [72, 81] (3.1).

$$\Delta J_\gamma = \frac{J_x - J_{\min}}{J_{\max} - J_{\min}} \quad (3.1)$$

где J_x - показания ГК по кривой в целевом интервале; J_{\min} - минимальные показания ГК; J_{\max} - максимальные показания ГК.

На основе полученной функции изменения двойного разностного параметра по разрезу скважины – $\Delta J_\gamma(h)$ определялись осредненные параметры для интервала эффективной мощности пласта ($m_{\text{эф}}$):

$$\Delta J_n = \frac{\int \Delta J_\gamma(h) dh}{m_{\text{эф}}} \quad (3.2)$$

и интервала расположения фильтра скважины (l_ϕ),

$$\Delta J_\phi = \frac{\int \Delta J_\gamma(h) dh}{l_\phi} \quad (3.3)$$

где интегрирование осуществлялось в пределах эффективной мощности и интервала установки фильтра соответственно.

Верхняя граница эффективной мощности определялась по кровле наиболее выдержанного по мощности пласта пород с наименьшими значениями ΔJ_γ и характерным отклонением влево кривых ГК, нижняя граница – по резкому отклонению вправо кривых ГК и соответствующему возрастанию значений ΔJ_γ .

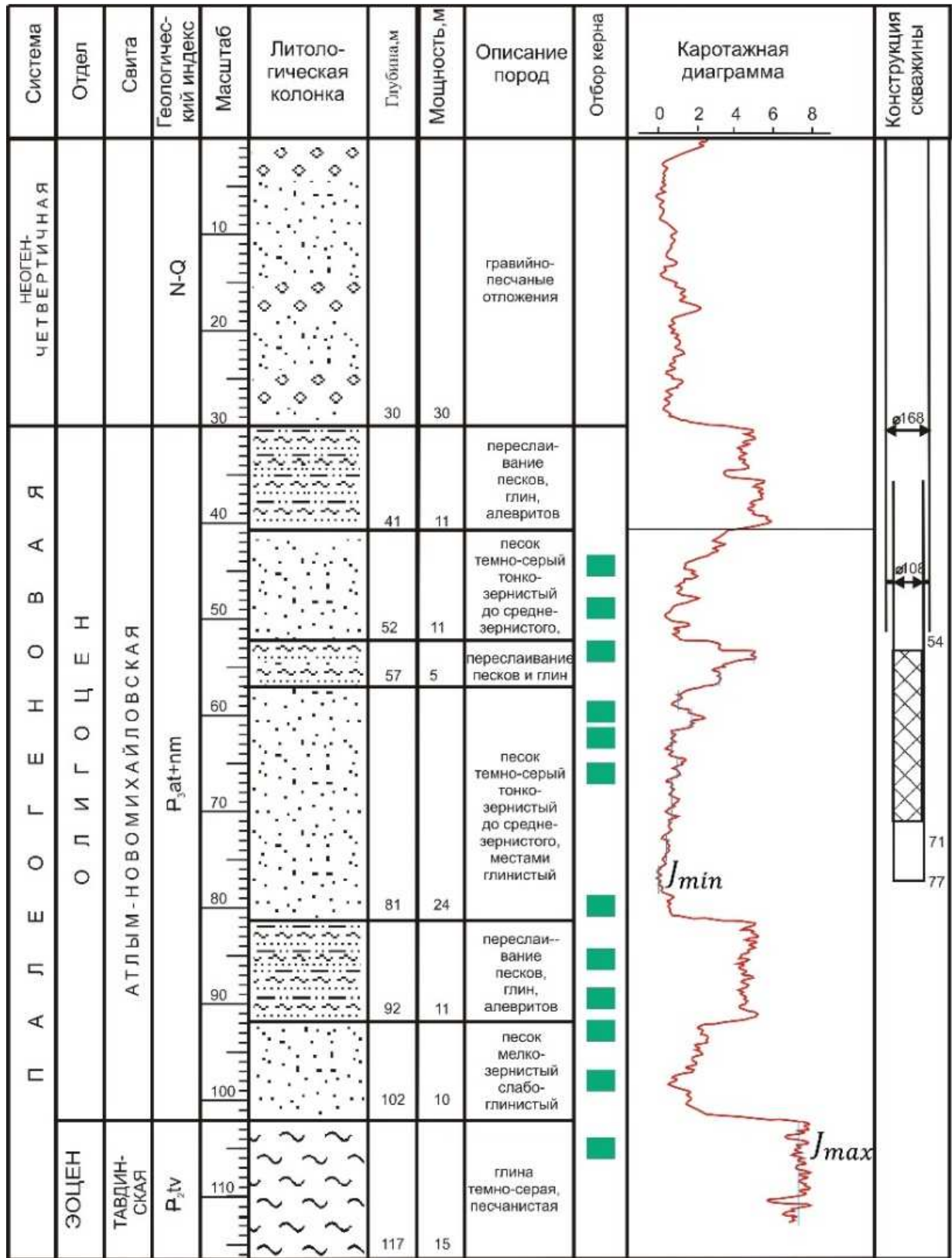


Рисунок 3.2 – Интерпретация каротажной диаграммы водозаборной скважины бп Октябрьского МППВ

(Русакова Ю.О., Плавник А.Г., Вашурина М.В., Ковяткина Л.А., 2023 [101])

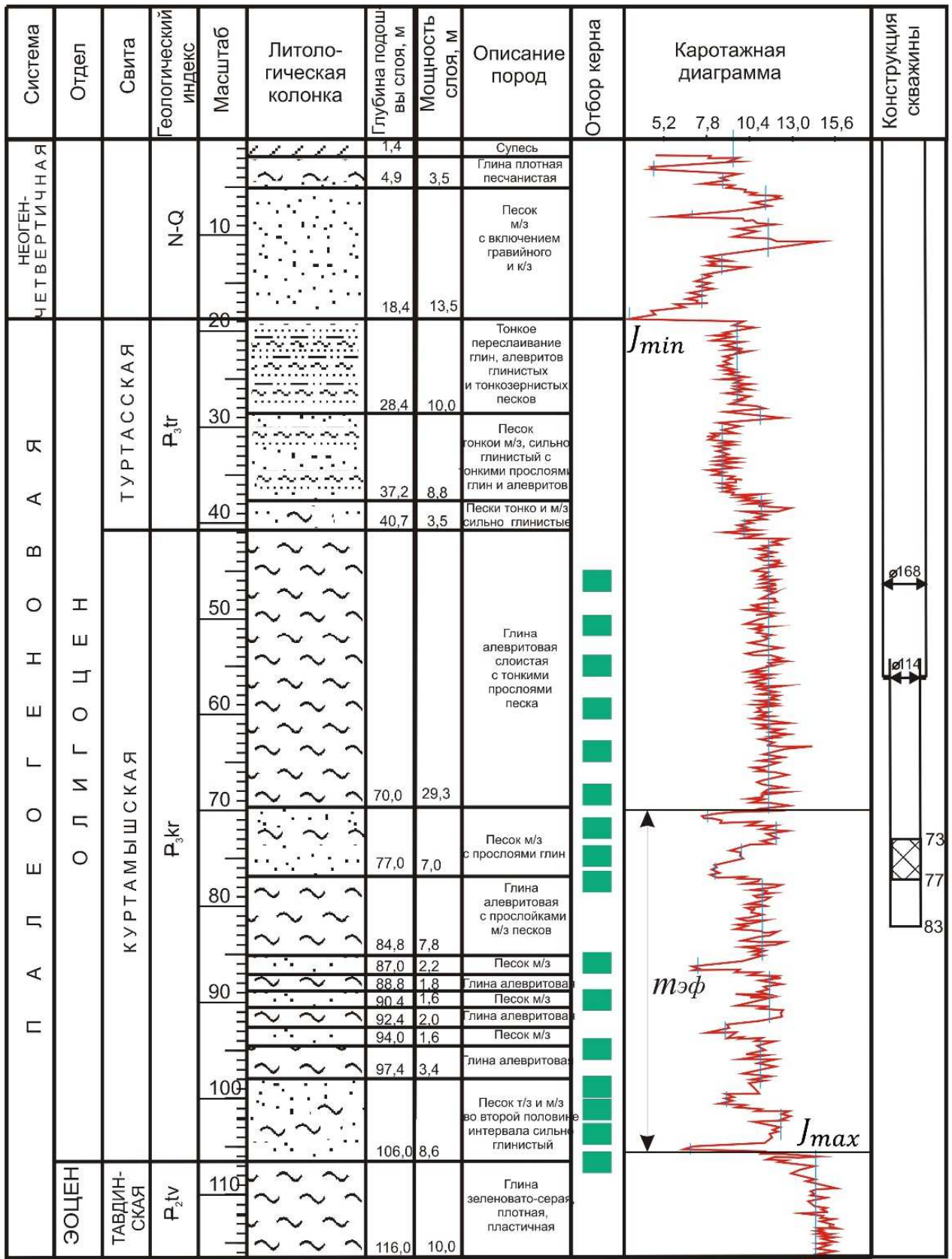


Рисунок 3.3 – Интерпретация каротажной диаграммы водозаборной скважины 53Н1 Заводоуковского МППВ

(Русакова Ю.О., Плавник А.Г., Ващурина М.В., Храмова А.Л., 2023 [94])

3.2.2. Исследование связи геофизической характеристики с характеристиками фильтрационных свойств пород по данным лабораторных определений

Систематизация данных лабораторных исследований, исходя из сложности гранулометрического состава пород олигоценового водоносного горизонта и необходимости учета степени глинистости изучаемых пород, выполнялась с применением классификации терригенных пород без жестких связей, разработанной в ЗапСибНИГНИ Главтюменьгеологии (П.А. Новосельцев, 1986) [58].

Классификация основана на гранулометрическом составе пород Западной Сибири и составлена по результатам анализа опубликованных многочисленных частных классификаций с использованием опыта, накопленного при полевом описании горных пород, исследования их физико-механических свойств в лаборатории, а также при камеральной обработке геологических материалов (Таблица 3.2).

Для детализации прогнозных значений коэффициента фильтрации и гранулометрического состава пород классы мелкозернистых песков детализировались по величине медианного диаметра частиц.

С целью общей характеристики гранулометрического состава пород, построения диаграмм его представления, а также разделения выборки наблюдений на группы согласно принятой классификации, для каждого образца пород вычислялась сумма относительного содержания глинистых (с диаметром $d \leq 0,002$ мм), пылеватых ($0,002 < d \leq 0,05$ мм) и песчаных ($d > 0,05$ мм) частиц³.

С целью определения коэффициента неоднородности песков и получения количественной характеристики гранулометрического состава для каждого образца пород строилась интегральная кривая гранулометрического состава, представляющая собой полулогарифмический график, по оси абсцисс которого откладывается логарифм диаметра частиц, по оси ординат – процентное

Таблица 3.2 – Классификация осадочных терригенных пород без жестких связей (по П.А. Новосельцеву, 1986 г.) [58]

Тип пород	Наименование пород	Факторы, определяющие название породы:												Ориентировочное	
		содержание фракций, %										Отношение пылеватых фракций (0.002-0.05) к песчаным (0.05-2.0)	по степени водопроницаемости	по степени водоносности (в зоне насыщения)	
		глинистых	песчаных					гравийных							
		<0.002	0.05-0.1	0.1-0.25	0.25-0.5	0.5-1.0	1-2	2-4	4-10	10-20	20-40				
Глинистые	Глина ¹	>30										-	Водонепроницаемые k<0.0001	безводные скважины, практически "сухие"	
	Глина песчанисто-алевритовая (суглинок тяжелый алевритовый) ²	20-30										>1	Слабоводопроницаемые (k от 0.001 до 1.0 м/сут)	Слабоводоносные (дебит скважин <1.0 л/с)	
	Глина песчанистая (суглинок тяжелый)	20-30										<1			
	Глина песчано-алевритовая (суглинок легкий алевритовый)	10-20										>1			
	Глина песчаная (суглинок легкий)	10-20										<1			
Алеврит глинистый	6-10										>1				
Алевритовые	Алеврит слабоглинистый	3-6										>1			
	Алеврит	<3										>1			
	Песок глинистый (супесь тяжелая) ³														
Песчаные	тонкозернистый	6-10	>50									-	Водопроницаемые k>1.0 м/сут	Водоносные (дебит скважин >1 л/с)	
	мелкозернистый	6-10		>50								-			
	среднезернистый	6-10			>50							-			
	крупнозернистый	6-10				>50						-			
	грубозернистый	6-10					>50					-			
	разнозернистый ⁴		в породе нет фракций с содержанием >50									<1			
	Песок слабоглинистый (супесь легкая)														
	тонкозернистый	3-6	>50									-			
	мелкозернистый	3-6		>50								-			
	среднезернистый	3-6			>50							-			
	крупнозернистый	3-6				>50						-			
	грубозернистый	3-6					>50					-			
	разнозернистый ⁴	3-6	в породе нет фракций с содержанием >50									<1			
	Песок														
	тонкозернистый	<3	>50									-			
мелкозернистый	<3		>50								-				
среднезернистый	<3			>50							-				
крупнозернистый	<3				>50						-				
грубозернистый	<3					>50					-				
разнозернистый ⁴	<3	в породе нет фракций с содержанием >50									<1				
Гравийные (дресвяные)	Гравий (дресва):														
	мелкозернистый	-						>50				-			
	среднезернистый	-							>50			-			
	крупнозернистый	-								>50		-			
	грубозернистый	-									>50	-			
	разнозернистый	-										сумма всех фракций >50	-		

¹ - собственно глины на разновидности не подразделяются.

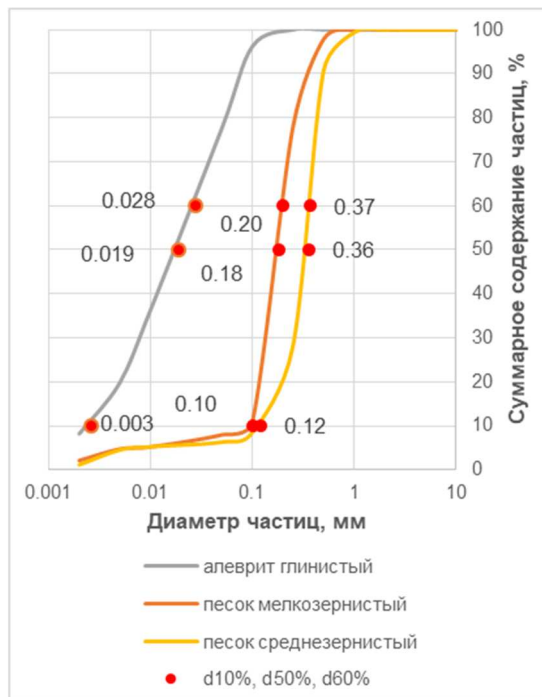
² - название породы "суглинок" и "супесь" по сложившейся традиции следует принимать лишь для отложений четвертичного возраста и в инженерно-геологической практике

³ - супесь в зависимости от преобладающей в ней песчаной фракции должна называться: супесь тяжелая (легкая) тонко-, мелко-, крупно-, грубо-, разнопесчаная.

⁴ - дополнительно к названию указывается преобладающая фракция

содержание частиц по совокупности фракций, начиная с самой мелкой (Рисунок 3.4).

а)



б)

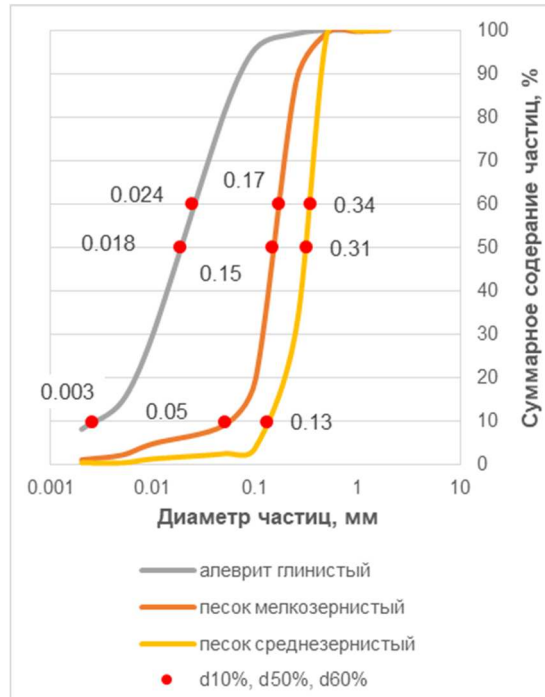


Рисунок 3.4 – Интегральные кривые средних значений гранулометрического состава образцов пород: а) Октябрьского МППВ, б) Ханты-Мансийского МППВ (Русакова Ю.О., Плавник А.Г., Вашурина М.В., Ковяткина Л.А., 2023 [101])

На основании соответствующих ординат 10 %, 50 % и 60 % на кривой гранулометрического состава определялся действующий (эффективный) диаметр частиц в миллиметрах (d_{10}), медианный диаметр (d_{50}) и диаметр d_{60} . Коэффициент неоднородности песков по гранулометрическому составу (C_v) определялся как отношение d_{60} к d_{10} [4].

Обработка результатов лабораторного определения фильтрационных свойств и литологического типа исследованных образцов заключалась в анализе согласованности их соотношения с характерными показателями используемой в настоящей работе классификации терригенных пород [58] и отбраковке нехарактерных значений.

Полученные по интегральным кривым гранулометрического состава значения для каждого образца пород d_{50} и в результате интерпретации кривых ГК

$\Delta J \gamma$ для интервала его отбора и соответствующие им $k\phi$ группировались в соответствии с принятой классификацией. В результате формировалась выборка из средних значений параметров по группам.

Оценка статистической связи параметров $\Delta J \gamma$ и суммы относительного содержания глинистых частиц (СГЧ, %), $d50$ и $\sqrt{\Delta J \gamma}$, $k\phi$ и $\Delta J \gamma$ и выполнялась методом парной линейной корреляции.

Прогноз параметров $d50$ и $k\phi$ основывался на модели линейной регрессии параметров $d50$ и $\sqrt{\Delta J \gamma}$, а также $k\phi$ и $\Delta J \gamma$.

Адекватность модели оценивалась величиной средней относительной погрешности прогноза (СОП, %), вычисленной по формуле:

$$\text{СОП} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \left| \frac{\Phi_i - \Pi_i}{\Phi_i} \right| \quad (3.4),$$

где Π_i – прогнозное значение параметра;

Φ_i – фактическое значение параметра.

3.2.3. Исследование связи геофизической характеристики с характеристиками фильтрационных свойств пород по данным гидродинамических испытаний скважин

Основными гидрогеологическими параметрами, используемыми при прогнозных расчетах водозаборов, являются ее удельный дебит (q , $\text{дм}^3/\text{с} \times \text{м}$), а также водопроницаемость водовмещающих пород (km , $\text{м}^2/\text{сут}$).

Значение водопроницаемости определялось графоаналитическими методами обработки данных гидродинамических испытаний способами временного прослеживания и подбора [13] при помощи программного комплекса Ovod [109].

Получение параметра глинистости водовмещающих пород ($\Delta J \gamma$) выполнялось на основании интерпретации гамма-каротажа водозаборных скважин.

Получение зависимости удельного дебита и водопроницаемости пород от двойного разностного параметра естественной радиоактивности опиралось на известный факт, что глинистость пород влияет на их фильтрационные свойства, которые, в свою очередь, определяют каптажные характеристики водозаборных скважин.

Для выполнения задачи получения прогнозных зависимостей в виде модели линейной регрессии и максимального учета при этом, потенциально влияющих факторов, рассматриваемые в исследовании параметры разделены на две группы: А и Б.

К группе А отнесены технические характеристики водозаборной скважины (длина фильтра и глубина его установки) по факту бурения скважин.

Параметры, характеризующие геологические особенности разреза (эффективная мощность водоносного горизонта, двойной разностный параметр естественной радиоактивности пород каптируемого интервала ($\Delta J \gamma$), водопроницаемость и коэффициент фильтрации водовмещающих пород) отнесены к группе Б.

В эту же группу включен комплексный параметр – величина несовершенства скважины по характеру вскрытия, получаемый расчетным путем на основании значений параметров групп А и Б.

Значение водопроницаемости определялось графоаналитическими методами обработки данных гидродинамических испытаний способами временного прослеживания и подбора [13] при помощи программного комплекса Ovod [109].

Величина несовершенства водозаборной скважины по характеру вскрытия пласта Δh_c определялась по зависимости С.К. Абрамова [59]:

$$\Delta h_c = 0.01a \sqrt{\frac{QS}{k_\phi F}} \quad (3.5),$$

где: а – коэффициент, учитывающий конструкцию водоприемной части скважины (для скважин, оборудованных гравийными фильтрами $a \approx 20$, Q – дебит

скважины, м³/сут, S – понижение уровня при откачке, м, $k\phi$ – коэффициент фильтрации пород, м/сут, F – рабочая площадь фильтра, м², вычисляемая по формуле:

$$F = \pi \times d_{\phi} \times l_{\phi} \quad (3.6),$$

где: d_{ϕ} – диаметр фильтра, м,

l_{ϕ} – длина его рабочей части, м.

Коэффициент фильтрации пород определялся путем деления значений водопроницаемости на величину эффективной мощности.

Статистические связи параметров оценивались путем парной линейной корреляции. Значимость связи, с учетом ее физического смысла, контролировалась значением коэффициента корреляции [11-17].

3.3. Результаты исследования

3.3.1. Результаты исследования связи геофизической характеристики с характеристиками фильтрационных свойств пород по данным лабораторных определений

На участках Советского и Заводоуковского МППВ среднее содержание глинистых частиц (СГЧ, %) в образцах пород составляет 4,7-36,5 %, соответствующие интервалам их отбора значения $\Delta J \gamma$ пород изменяются в пределах 0,18-0,73 отн.ед. (Таблица 3.3).

Прямые зависимости значений СГЧ и $\Delta J \gamma$ характеризуются, как тесные (коэффициент корреляции 0,73-0,74) (Рисунок 3.5), что свидетельствует о теоретически возможной сопоставимости этих величин.

Таблица 3.3 – Средние значения параметров СГЧ и $\Delta J \gamma$ по группам пород:
а) Советского, б) Заводоуковского МППВ

Показатель	Количество образцов		Среднее содержание глинистых частиц, %		$\Delta J \gamma$, отн.ед	
	а)	б)	а)	б)	а)	б)
Глина		4		36,5		0,73
Глина песчанисто-алевритовая		1		28,3		0,67
Глина песчанистая		4		23,1		0,65
Глина песчано-алевритовая	2		12,6		0,64	
Глина песчаная	2	6	11,45	14,8	0,46	0,60
Песок глинистый мелкозернистый	5		7,6		0,19	
Песок глинистый тонкозернистый		1		7,4		0,41
Песок слабоглинистый мелкозернистый	2		4,7		0,18	
Итого	11	16				

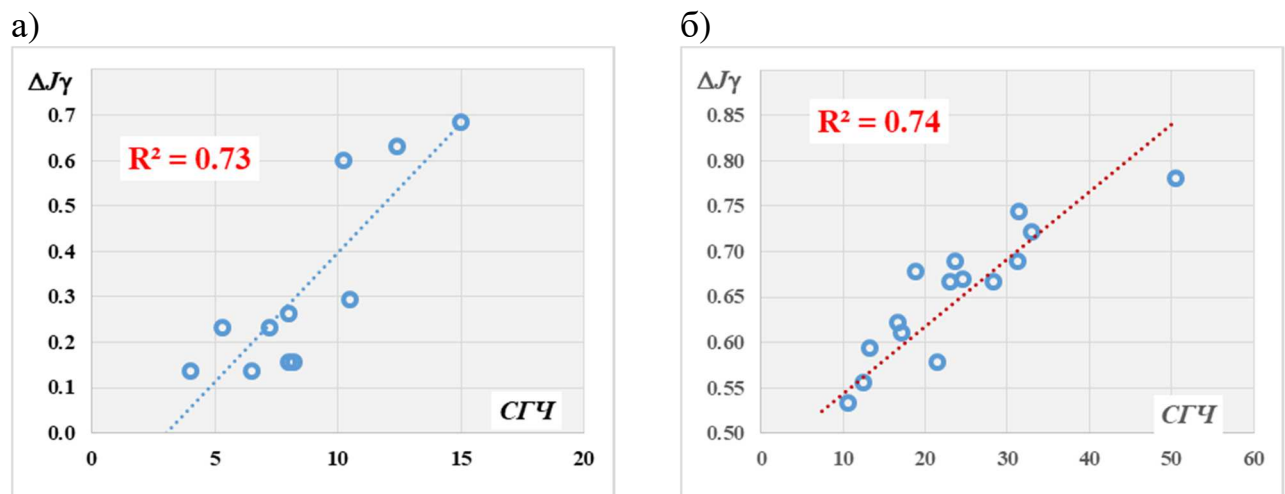
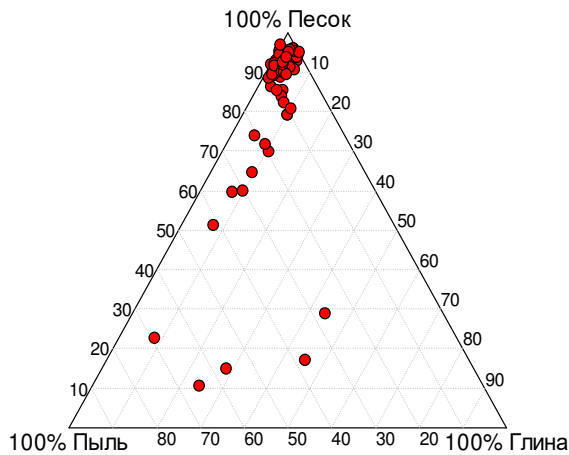


Рисунок 3.5 – График зависимости СГЧ и $\Delta J \gamma$ пород интервала отбора образцов пород скважины: а) 9п (Советское МППВ); б) 53Н1 (Заводоуковское МППВ)

На участках Ханты-Мансийского и Октябрьского МППВ средние значения параметров составляют: медианный диаметр (d_{50}) песков составляет от 0,06 до 0,32 мм, глин и алевритов – от 0,003 до 0,038 мм. Пески по степени

неоднородности (C_v от 2 до 94) в подавляющем большинстве классов имеют высокую степень неоднородности (Рисунок 3.6).

а)



б)

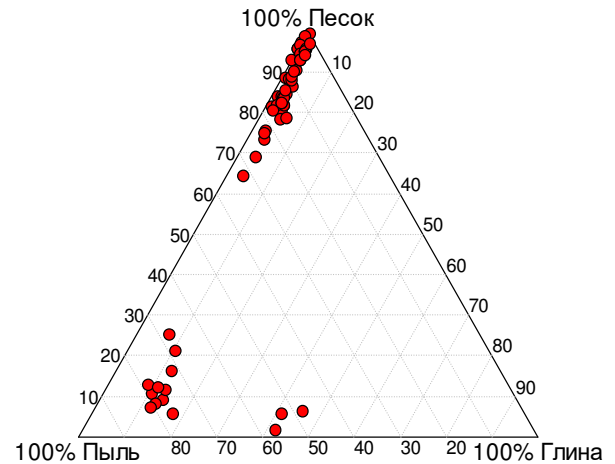


Рисунок 3.6 – Распределение образцов пород по гранулометрическому составу: а) Октябрьского МППВ, б) Ханты-Мансийского МППВ

(Русакова Ю.О., Плавник А.Г., Вашурина М.В., Ковяткина Л.А., 2023 [101])

Средние значения коэффициента фильтрации песков в зависимости от гранулометрического состава и степени глинистости определены лабораторным методом в пределах 1,44-19,27 м/сут.

Полученные в результате интерпретации кривых гамма-каротажа значения $\Delta J \gamma$ песков составляют от 0,09 до 0,59 отн.ед., алевритов и глин – 0,72-0,97 отн.ед. Значения d_{10} , d_{50} , d_{60} и k_f сопоставимых классов по образцам пород, отобранных в различных скважинах месторождений близки (Таблица 3.4), (Рисунок 3.6), что позволило объединить наблюдения по месторождениям в общие выборки по средним значениям для d_{50} и $\Delta J \gamma$ из 22 наблюдений, по k_f в количестве 11 наблюдений (Таблица 3.5).

Статистическая связь определенного лабораторным методом коэффициента фильтрации пород (k_f) с медианным диаметром их частиц (d_{50}) характеризуется как сильная (коэффициент корреляции 0,95) (Рисунок 3.7).

Таблица 3.4 – Характеристика средних значений d_{50} , C_v , $\Delta J \gamma$ и $k\phi$ по группам пород: а) Октябрьского, б) Ханты-Мансийского месторождений; в) среднее значение по месторождениям

Наименование пород	d_{50} , мм					C_v			$k\phi$, м/сут					$\Delta J \gamma$, отн.ед.					
	Количество образцов		значение			значение			Количество образцов		значение			Количество образцов		значение			
	а)	б)	а)	б)	в)	а)	б)	в)	а)	б)	а)	б)	в)	а)	б)	а)	б)	в)	
Глина	2	3	0.003	0.003	0.003										2	3	0.97	0.97	0.97
Глина песчанисто-алевритовая	2		0.007		0.007										2		0.91		0.91
Глина песчано-алевритовая		9		0.01	0.010											9		0.82	0.82
Алеврит глинистый	1	2	0.02	0.02	0.02										1	2	0.72	0.82	0.77
Песок тонкозернистый глинистый	1		0.06		0.06	30		30							1		0.59		0.59
Песок мелкозернистый глинистый	2	1	0.17	0.15	0.16	90	21	56	2		1.51		1.51		1		0.4		0.40
Песок разномзернистый с преобладанием тонкозернистого глинистый	2		0.07		0.07	39		39							2		0.59		0.59
Песок разномзернистый с преобладанием мелкозернистого глинистый	5		0.13		0.13	34		34							5		0.41		0.41
Песок разномзернистый с преобладанием среднезернистого глинистый	3		0.27		0.27	94		94							2		0.19		0.19
Песок мелкозернистый слабоглинистый	9	10	0.17	0.13	0.15	3	20	12	3	1	3.69	3.97	3.83	5	9	0.29	0.39	0.34	
Песок среднезернистый слабоглинистый	12		0.32		0.32	6		6	3		16.65		16.65	7		0.09		0.09	
Песок разномзернистый с преобладанием мелкозернистого слабоглинистый	4	2	0.17	0.14	0.15	14	25	20							2		0.36		0.36
Песок разномзернистый с преобладанием среднезернистого слабоглинистый	2	2	0.31	0.17	0.24	4	21	13	1		12.79		12.79	2	2	0.12	0.22	0.17	
Песок разномзернистый с преобладанием мелкозернистого		3		0.19	0.19		15	15		1		5.7	5.70		2		0.3		0.30
Песок мелкозернистый, $d_{50}=0.14$	1	9	0.14	0.14	0.14	5	8	7	1	3	1.64	1.44	1.54		8		0.38		0.38
Песок мелкозернистый, $d_{50}=0.15$	1	4	0.15	0.15	0.15		2	2							2		0.34		0.34
Песок мелкозернистый, $d_{50}=0.16$	2	4	0.16	0.16	0.16	2	2	2		4		4.73	4.73		1		0.3		0.30
Песок мелкозернистый, $d_{50}=0.19$	11	8	0.19	0.17	0.18	3	2	3	10	7	5.58	5.05	5.32	1	2	0.31	0.3	0.31	
Песок мелкозернистый, $d_{50}=0.22$		1		0.22	0.22		2	2							1		0.19		0.19
Песок мелкозернистый, $d_{50}=0.23$		1		0.23	0.23		2	2		1		11.2	11.15		1		0.23		0.23
Песок среднезернистый	5	3	0.31	0.31	0.31	4	3	4	2	2	15.12	19.27	17.20	1	3	0.10	0.1	0.10	
Песок разномзернистый с преобладанием среднезернистого	3	3	0.28	0.24	0.26	3	9	6	1	1	10.71	18.92	14.82	2	3	0.19	0.17	0.18	
Всего	68	65			22				23	20			11	33	51				22

Таблица 3.5 – Характеристика выборок наблюдений

Наименование показателя	d_{50} , мм	$\sqrt{\Delta J \gamma}$	$K\phi$, м/сут	$\Delta J \gamma$, отн.ед.
Число наблюдений N	22	22	11	11
Минимальное значение	0,003	0,30	1,51	0,09
Максимальное значение	0,32	0,98	17,19	0,40
Среднее значение	0,16	0,60	8,66	0,25
Медиана	0,16	0,58	5,70	0,30
Стандартное отклонение	0,10	0,20	5,99	0,11
Коэффициент вариации, %	62	32	69	42

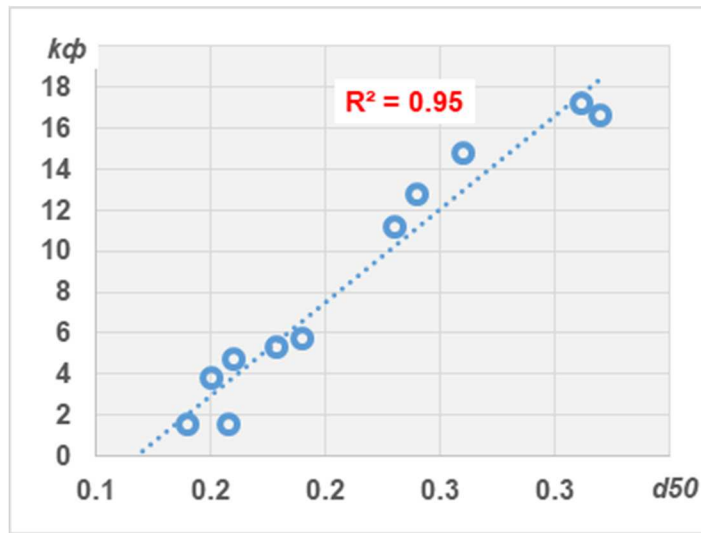


Рисунок 3.7 – График зависимости средних значений по группам $kф$ и $d50$ (Русакова Ю.О., Плавник А.Г., Вашурина М.В., Ковяткина Л.А., 2023 [101])

В результате корреляции параметров получены тесные зависимости (коэффициент корреляции 0,97 между средними значениями медианного диаметра частиц ($d50$) и коэффициента фильтрации ($kф$) в группах данных, выделенных согласно классификации пород по гранулометрическому составу и степени глинистости (по П.А. Новосельцеву), с величиной двойного разностного параметра естественной радиоактивности ($\sqrt{\Delta J \gamma}$; $\Delta J \gamma$) (коэффициент корреляции 0,98) (Рисунок 3.8).

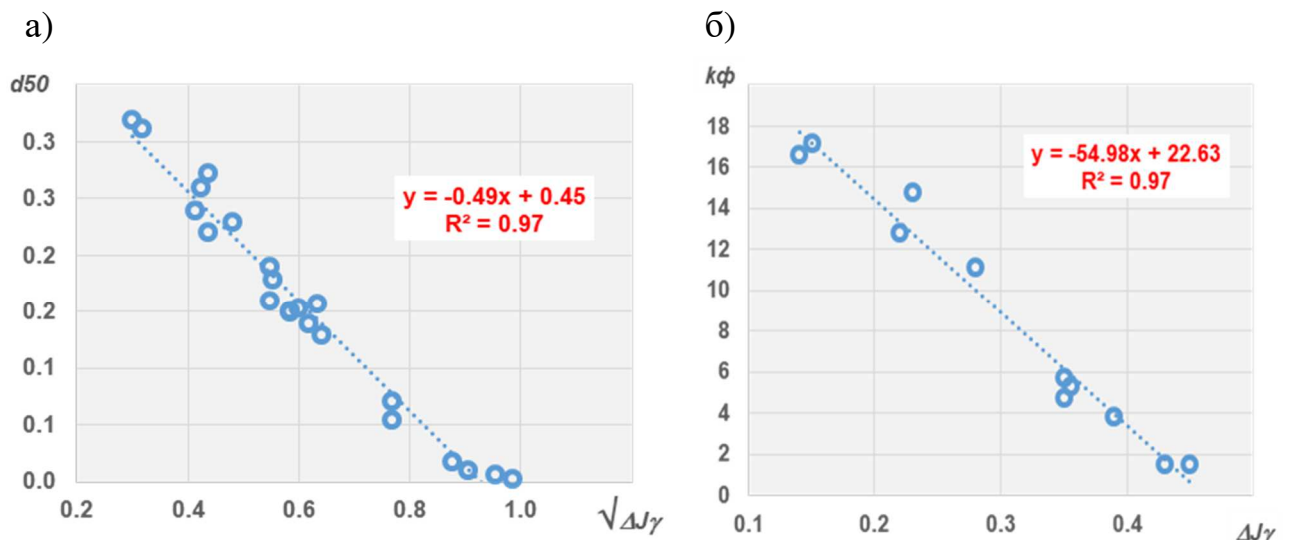


Рисунок 3.8 – Графики зависимостей средних значений по группам:

а) $d50$ и $\sqrt{\Delta J \gamma}$; б) $kф$ и $\Delta J \gamma$

(Русакова Ю.О., Плавник А.Г., Вашурина М.В., Ковяткина Л.А., 2023 [101])

Направление связей отвечает физическому смыслу – увеличение значений естественной радиоактивности пород наблюдается при снижении медианного диаметра их частиц и коэффициента фильтрации.

Величина средней относительной погрешности прогноза (СОП) (3.4) для подавляющего числа классов составляет 10-14 %, исключение составляет прогноз d_{50} для глин, а также коэффициента фильтрации для глинистых мелкозернистых песков, что связано с пределом применимости закона фильтрации для данных пород и оценивается как допустимая.

Таким образом, величина двойного разностного параметра естественной радиоактивности обоснованно может использоваться для предварительной характеристики гранулометрического состава пород и их коэффициента фильтрации.

На основании расчетных зависимостей по известным значениям $\Delta J \gamma$ получены прогнозные значения d_{50} и k_f (Таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Прогнозные значения d_{50} и k_f при известных значениях $\Delta J \gamma$

Наименование пород	$\Delta J \gamma$, <i>отн.ед</i>	d_{50} , мм	K_f , м/сут
Глина	0,97-1,00	0,003	
Глина песчанисто-алевритовая и песчаная	0,82-0,91	0,007-0,01	
Алеврит глинистый	0,77	0,02	
Песок тонкозернистый	0,59	0,06	
Песок мелкозернистый глинистый	0,40-0,41	0,13-0,16	до 1,5
Песок мелкозернистый	0,19-0,38	0,14-0,23	1,5-11
Песок среднезернистый	0,09-0,18	0,24-0,32	12-17

По результатам исследования установлено, что:

- высокая степень неоднородности пород олигоценового водоносного горизонта на территории исследования требует их классификации с учетом глинистости и размера частиц, в значительной степени определяющих их фильтрационные свойства;

- величина двойного разностного параметра естественной радиоактивности водовмещающих пород статистически значимо связана с величиной глинистости

образцов пород, медианным диаметром их частиц и коэффициентом фильтрации песков различной степени глинистости, определенных лабораторным путем.

Таким образом, классификация неоднородных олигоценовых отложений по гранулометрическому составу и глинистости, подтвержденная статистически значимой связью этих параметров с естественной радиоактивностью, составляет методическую основу для прогнозной оценки их фильтрационных свойств.

3.3.2. Результаты исследования связи двойного разностного параметра естественной радиоактивности и показателей, полученных по данным гидродинамических испытаний скважин

Статистические связи величин двойного разностного параметра естественной радиоактивности ($\Delta J \gamma$) с водопроницаемостью пород (km) и удельным дебитом скважин (q) исследовалась на материалах разведки Советского [158], Октябрьского [152], Ханты-Мансийского [160], Заводоуковского месторождения [154] и по водозаборным скважинам в Шаимском НГР.

По данным гидродинамических испытаний скважин значения водопроницаемости составили 2,13-804 м²сут, удельного дебита – 0,05-1,43 (дм³/(с×м)).

В результате интерпретации кривых ГК пород куртамышского горизонта получены средние значения двойного разностного параметра естественной радиоактивности в зоне фильтра скважин – от 0,03 до 0,69 отн.ед (Таблица 3.7).

Вариативность всех параметров высокая, что свидетельствует, как о весьма значительной неоднородности пород, так и о различии в конструкции скважин (длина фильтра изменяется в пределах 4-19 м).

Статистические связи значений водопроницаемости пород и двойного разностного параметра естественной радиоактивности характеризуются как тесные (коэффициент корреляции 0,72-0,73, для двух месторождений – 0,69).

Таблица 3.7 – Характеристика значений водопроницаемости, удельного дебита и двойного разностного параметра

Показатель	Водопроницаемость, $km, m^2/сут$		Удельный дебит, $q, dm^3/(c \times m)$					Двойной разностный параметр естественной радиоактивности зоны фильтра, $\Delta J \gamma, отн.ед$				
	Советское МППВ	Заводовское МППВ	Советское МППВ	Шаимский НГР	Заводовское МППВ	Октябрьское МППВ	Ханты-Мансийское МППВ	Советское МППВ	Шаимский НГР	Заводовское МППВ	Октябрьское МППВ	Ханты-Мансийское МППВ
Среднее значение	349	119	0,61	0,35	0,35	0,46	0,76	0,17	0,27	0,53	0,13	0,14
Минимальное значение	147	73	0,05	0,18	0,14	0,14	0,08	0,05	0,16	0,33	0,03	0,06
Максимальное значение	804	200	1,43	0,9	0,64	1,54	1,24	0,30	0,37	0,69	0,23	0,20
Среднеквадратичное отклонение	220	40	0,46	0,2	0,15	0,49	0,42	0,07	0,07	0,11	0,06	0,05
Коэффициент вариации	0,63	0,34	0,74	0,58	0,43	1,08	0,55	0,44	0,28	0,2	0,46	0,34

Направление связей отвечает физическому смыслу – водовмещающим породам с наименьшей глинистостью соответствует наибольшее значение водопроницаемости (Рисунок 3.9).

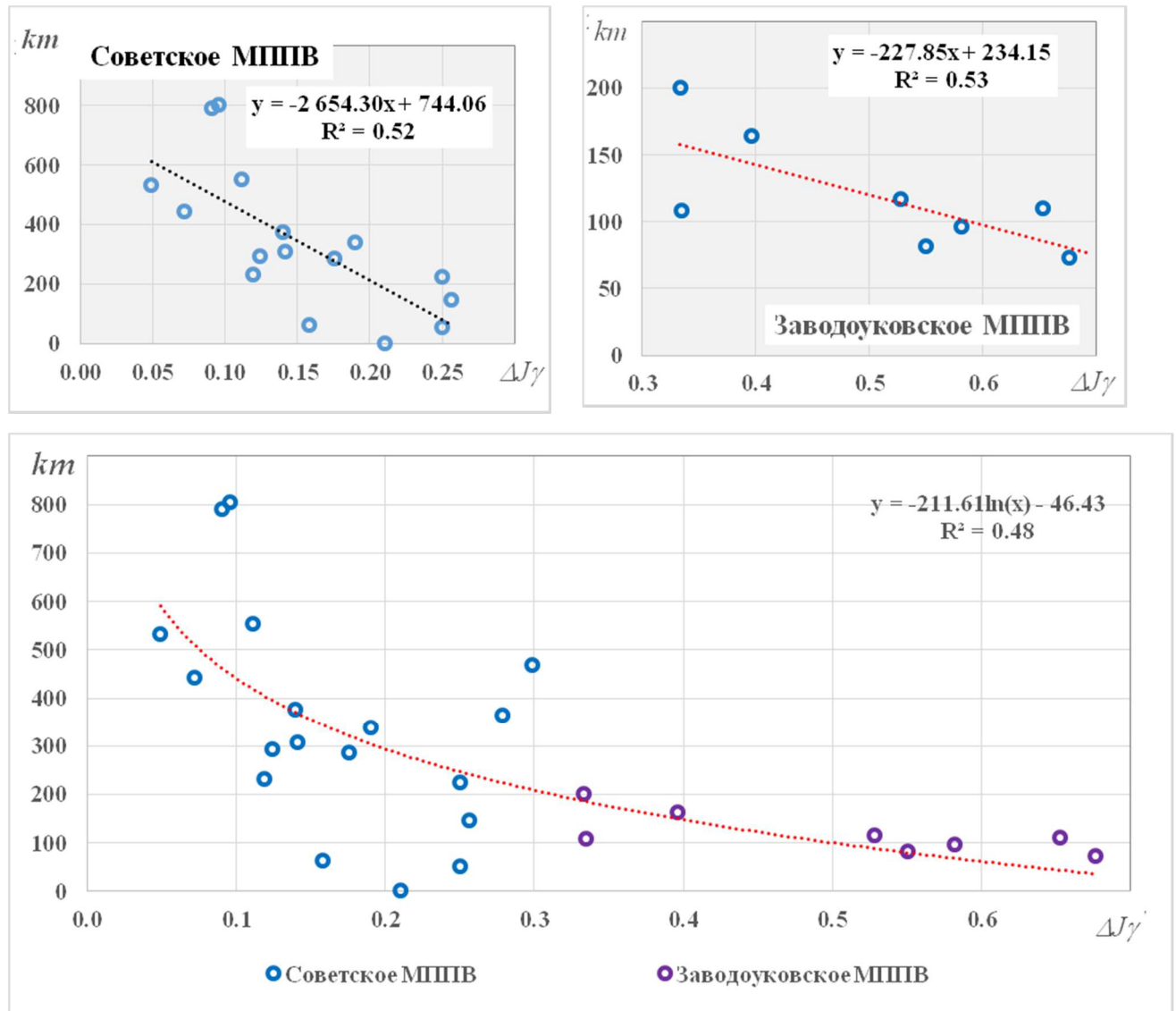


Рисунок 3.9 – Графики зависимостей: km и $\Delta J \gamma$

Статистические связи значений удельного дебита скважин и двойного разностного параметра естественной радиоактивности также тесные (коэффициент корреляции 0,66-0,83, общий для пяти месторождений – 0,54), направление связей отвечает физическому смыслу – водовмещающим породам с наименьшей глинистостью соответствует наибольшее значение удельного дебита (Рисунок 3.10).

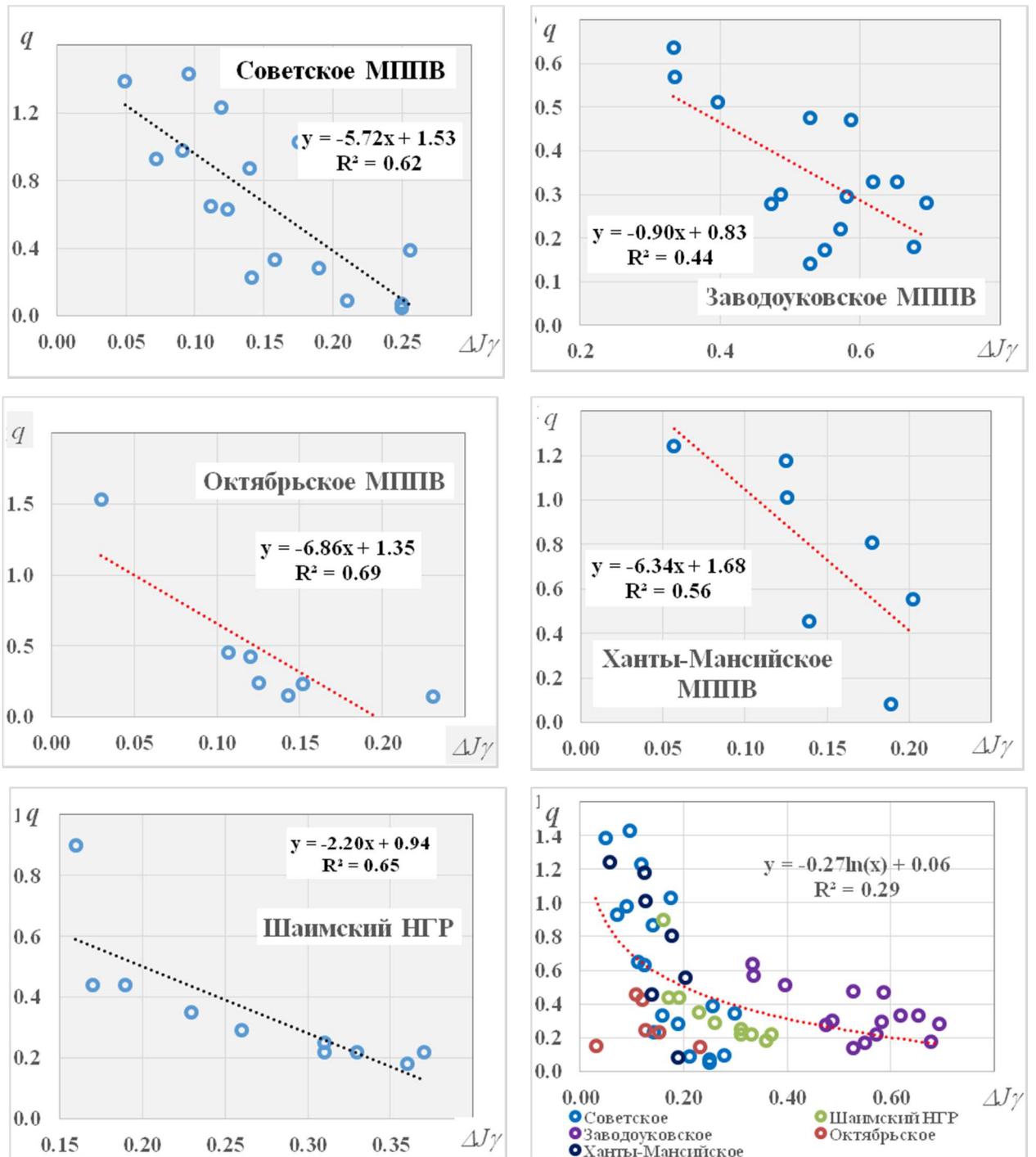


Рисунок 3.10 – Графики зависимости: q и $\Delta J\gamma$

Исследование факторов, влияющих на удельный дебит скважин выполнено на участке Заводоуковского МППВ [94].

Вариативность параметров группы А достаточно высокая: скважины оборудованы фильтрами длиной от 4 до 19 м, глубина их установки в пределах водоносного горизонта изменяется от 59 до 102 м (Таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Характеристика параметров группы А, величины дебита и удельного дебита водозаборных скважин

Характеристика	Параметры группы А		Дебит скважин, Q , м ³ /сут	Удельный дебит, q , м ³ / (сут \times м)
	Глубина установки фильтра, h_f , м	Длина фильтра скважины, l_f , м		
Минимальное значение	59	4,0	225	12,17
Максимальное значение	102	19	864	54,98
Среднее значение	79	13	530	29,90
Среднеквадратичное отклонение	12	5	186	13,17
Коэффициент вариации	0,16	0,37	0,35	0,44

Значения параметров группы Б (Таблица 3.9) также изменяются в широком диапазоне: эффективная мощность водоносного горизонта изменяется по площади от 33 до 50 м; водопроницаемость, в зависимости от дебита скважины при испытании, составляет от 73 до 200 м²/сут; коэффициент фильтрации – от 1 до 6 м/сут.

Таблица 3.9 – Характеристика параметров группы Б

Характеристика	Эффективная мощность водоносного горизонта, m_n , м	Водопроницаемость пород, kt , м ² /сут	Коэффициент фильтрации, k_f , м/сут	Двойной разностный параметр		Величина несовершенства скважины, Δh_c , м
				по эффективной мощности, $\Delta J \gamma_n$, отн. ед	по мощности эксплуатируемого интервала, $\Delta J \gamma_f$, отн. ед.	
Минимальное значение	33	73	1	0,39	0,33	3
Максимальное значение	50	200	6	0,71	0,69	6
Среднее значение	39	119	3	0,57	0,53	5
Среднеквадратичное отклонение	6	43	1	0,12	0,11	1
Коэффициент вариации	0,16	0,36	0,43	0,20	0,21	0,24

Среднее значение $\Delta J \gamma$ эффективной мощности находится в пределах 0,39-0,71, интервала эксплуатации – в пределах 0,33-0,69. Величина несовершенства

скважин по характеру вскрытия пласта характеризуется значениями от 3 до 6 м и составляет от 17 до 43 % от общего понижения уровня при откачке.

В результате корреляции установлены тесные статистические связи (коэффициент корреляции 0,7): величины двойного разностного параметра пород эксплуатируемого интервала установки фильтра ($\Delta J_{\gamma\phi}$) и водопроводимости (km) (Рисунок 3.11а); удельного дебита скважин (q) и параметра несовершенства скважины (Δh_c) (Рисунок 3.11б).

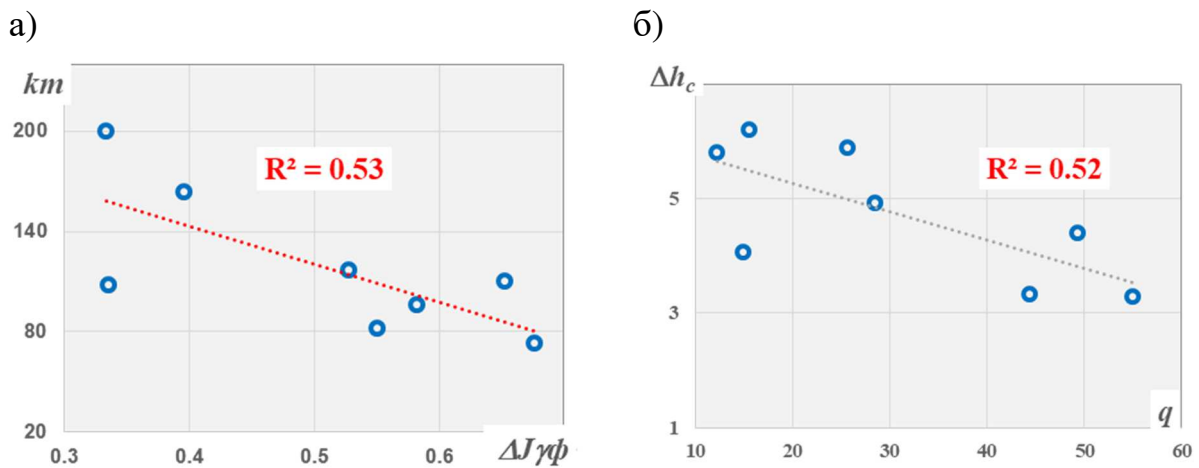


Рисунок 3.11 – Графики зависимости: а) $\Delta J_{\gamma\phi}$ и km ; б) q и Δh_c

Менее тесные статистические связи (коэффициент корреляции 0,6) имеют $\Delta J_{\gamma\phi}$ и коэффициент фильтрации (k_{ϕ}) (Рисунок 3.12а), q и k_{ϕ} (Рисунок 3.12б), что связано с комплексным влиянием различных факторов на полученные значения параметров – неоднозначностью вовлечения мощности водоносного горизонта при гидродинамическом возмущении и влиянием несовершенства скважин по характеру и степени вскрытия водоносного горизонта.

Наиболее значимой для прогноза выбрана величина удельного дебита скважин, ввиду того, что включает технический параметр скважины – длину водоприемной части (фильтра).

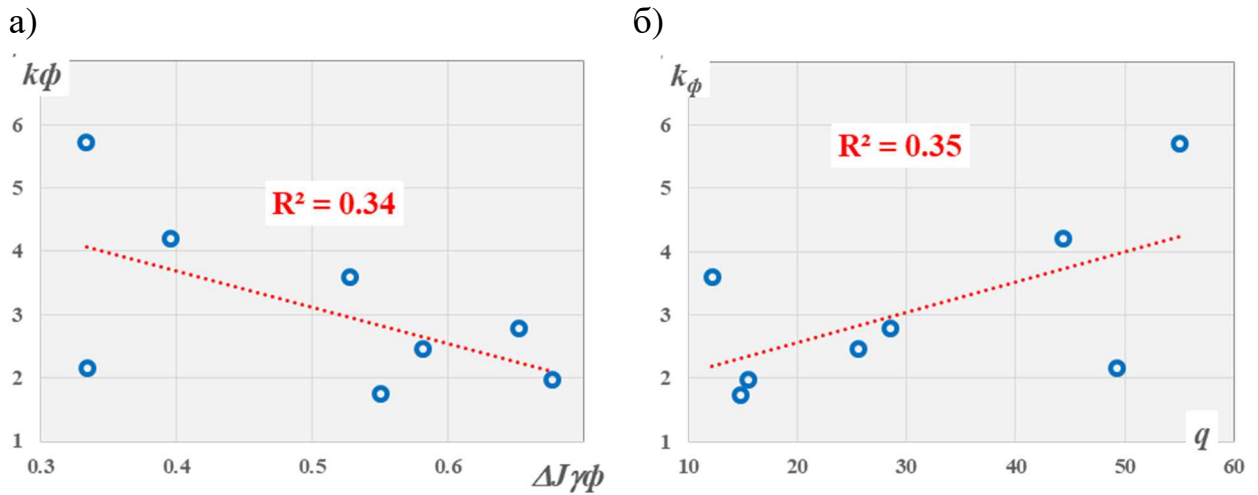


Рисунок 3.12 – Графики зависимости: а) $\Delta J\gamma\phi$ и $k\phi$; б) q и $k\phi$

На основании анализа результатов парной линейной корреляции (Таблица 3.10) отмечается, что максимальный коэффициент корреляции (0,8) достигается при анализе статистической связи удельного дебита и комплексной величины параметров групп А и Б, численно равной отношению длины фильтра к величине двойного разностного параметра естественной радиоактивности пород $\Delta J\gamma$ интервала эксплуатации (l_ϕ).

Таблица 3.10 – Коэффициенты корреляции удельного дебита скважин и рассматриваемых параметров

Параметры	Удельный дебит, q , м ³ /сут/м
Длина фильтра, l_ϕ , м	0.6
Глубина фильтра, h_ϕ	0.2
Эффективная мощность, m_ϕ , м	0,2
Коэффициент фильтрации, k_ϕ , м/сут	0,6
Двойной разностный параметр пород эффективной мощности, $\Delta J\gamma$ п усл. ед	-0.6
Двойной разностный параметр пород интервала эксплуатации, $\Delta J\gamma\phi$, усл. ед	-0.7
Несовершенство скважины по характеру вскрытия пласта, Δh_c ,	-0,7
Комплексный параметр $l_\phi/\Delta J\gamma\phi$, м/усл.ед	0.8

Примечание: жирным шрифтом выделены значимые связи

С учетом данного вывода получены уравнения регрессии (Рисунок 3.13).

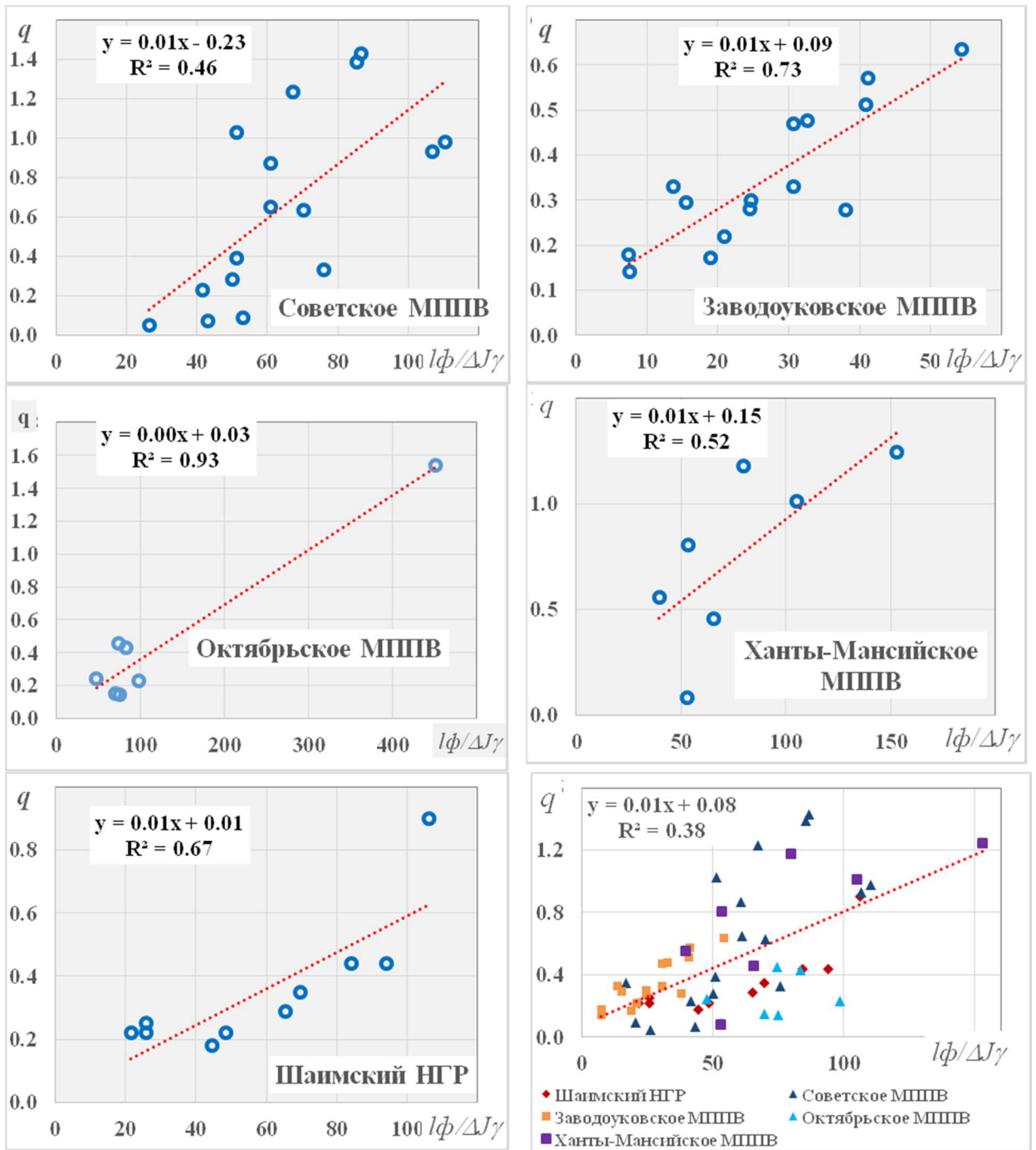


Рисунок 3.13 – График зависимости q и $l\phi/\Delta J\gamma$

Таким образом, установлено, что величина двойного разностного параметра естественной радиоактивности водовмещающих пород значимо статистически связана с величиной водопроницаемости пород, удельным дебитом и параметром несовершенства скважины по характеру вскрытия пласта; логично подтверждая тот факт, что водозаборные скважины с наибольшей длиной водоприемной

частью, оборудованной в наименее глинистом и соответственно, более водообильном интервале водоносного горизонта имеют наименьшую величину несовершенства по характеру вскрытия пласта и способны обеспечить наибольший удельный дебит.

Установленные корреляционные связи двойного разностного параметра естественной радиоактивности с основными фильтрационными характеристиками позволяют рассматривать его как репрезентативный показатель фильтрационных свойств пород олигоценового горизонта.

При проведении поисково-разведочных работ на подземные воды питьевого и технического водоснабжения на перспективных участках предложенная методика прогнозной оценки фильтрационных параметров включает:

1. Интерпретацию данных гамма-каротажа, содержащую определение опорных пластов глин и песков; стратиграфическое расчленение разреза; выделение кровли и подошвы целевого объекта; численную характеристику литологических разностей на основе величины двойного разностного параметра естественной радиоактивности.

2. Выделение в разрезе горизонта перспективных интервалов для эксплуатации с учетом необходимых критериев (минимальная глубина залегания, наименьшая величина двойного разностного параметра естественной радиоактивности), определение их мощности (m).

3. Классификацию намеченных коллекторов по гранулометрическому составу на основе значений медианного диаметра частиц (d_{50}), прогноз значений коэффициента фильтрации (k_f) (Таблица 3.6).

4. На основании приведенных уравнений регрессии (Рисунок 3.9), (Рисунок 3.13) прогноз значений водопроводимости (km) пород и удельного дебита скважин (q) с учетом проектной длины фильтра скважины (lf).

Полученные в результате исследования зависимости являются основой для использования при поиске перспективных интервалов для эксплуатации водозаборными скважинами на малоизученных гидрогеологической разведкой территориях.

Примером может служить северная часть Шаимского НГР, изученная геофизическим каротажем нефтяных разведочных скважин. В интервале залегания олигоценового горизонта разрез представлен только записью кривых естественной радиоактивности (ГК).

При интерпретации кривых ГК учитывался поисковый критерий, определенный исходя из практики многолетней эксплуатации водозаборных скважин в районе исследования: мощность каптажного интервала не менее 16 м на глубине от 30 м для обеспечения запаса понижения уровня воды в скважине.

По результатам интерпретации ГК нефтяных разведочных скважин на площади исследования установлено, что продуктивные интервалы залегают на глубине до 129 м, полученные значения $\Delta J\gamma$ пород этих интервалов (0,01-0,33) сопоставимы со значениями, характерными для каптажных интервалов водозаборных скважин как на участке разведанной площади Советского МППВ, так и на действующих водозаборах в Шаимском НГР (Таблица 3.11).

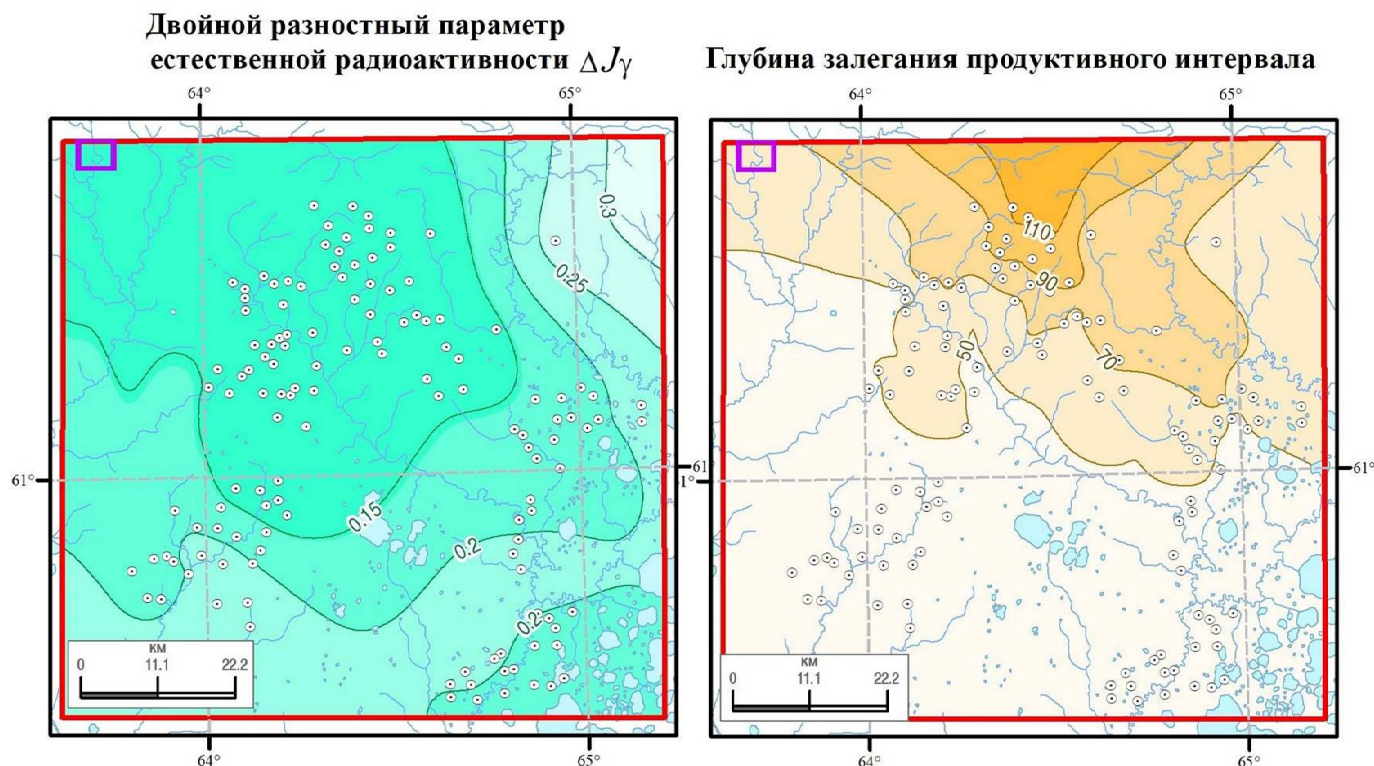
По результатам интерпретации гамма-каротажа построены карты глубин залегания перспективных интервалов эксплуатации и величины их геофизической характеристики $\Delta J\gamma$ (Рисунок 3.14).

На основании анализа карт пространственного распределения $\Delta J\gamma$ можно отметить, что глубина залегания продуктивных интервалов увеличивается в направлении с юга на север, при этом наименьшими значениями $\Delta J\gamma$ характеризуются продуктивные интервалы в центральной и северной частях территории.

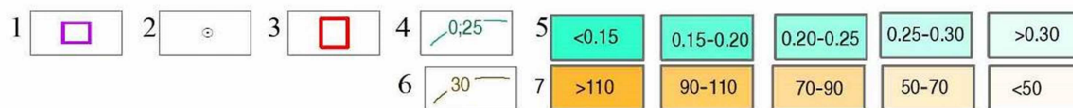
Учитывая тот факт, что максимальная глубина залегания каптируемого интервала обеспечивает наибольший запас понижения уровня при работе скважины, а минимальная глинистость – лучшие фильтрационные свойства пород, наиболее благоприятные условия эксплуатации (большая водообильность) существуют для водозаборных скважин, проектируемых на севере центральной части территории.

Таблица 3.11 – Сравнение глубин залегания продуктивных интервалов и величины двойного разностного параметра естественной радиоактивности водовмещающих пород по месторождениям

Показатель	Советское МППВ		Шаимский НГР, водозаборные скважины		Шаимский НГР, нефтяные разведочные скважины	
	глубина залегания продуктивного интервала, м	$\Delta J\gamma$ интервала каптажа	глубина залегания продуктивного интервала, м	$\Delta J\gamma$ интервала каптажа	глубина залегания продуктивного интервала, м	$\Delta J\gamma$ интервала каптажа
Среднее значение	62,78	0,17	63,24	0,27	57	0,15
Минимальное значение	33,80	0,05	40,0	0,16	30	0,01
Максимальное значение	85,50	0,30	101,00	0,37	129	0,33
Среднеквадратичное отклонение	12,85	0,07	17,67	0,07	20	0,06
Коэффициент вариации	0,20	0,44	0,28	0,28	0,36	0,41



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



1 – Советское МППВ; 2 – скважина нефтяная разведочная, исследованная геофизическим каротажем (цифры: номер и значение глубины залегания продуктивного интервала, м или величины двойного разностного параметра естественной радиоактивности, отн.ед.); 3 – территория исследования; 4 – изолинии значения параметра; 5 – область значения величины двойного разностного параметра естественной радиоактивности, отн.ед.; 6 – область значений глубин залегания продуктивных интервалов, м

Рисунок 3.14 – Схематические карты значений двойного разностного параметра естественной радиоактивности и прогнозных глубин залегания продуктивных интервалов (Русакова Ю.О., Плавник А.Г., Ковяткина Л.А., 2022 г.)

3.4. Выводы

Предварительная характеристика литологического состава водовмещающих пород и их фильтрационных свойств является актуальной задачей при проектировании водозаборов подземных вод на малоизученных территориях. Основными характеристиками фильтрационных свойств пород, участвующими в прогнозных расчетах водозаборов подземных вод, являются гранулометрический состав, коэффициенты фильтрации и водопроницаемости пород, а также удельный дебит скважин. Материалы гамма-каротажа скважин различного назначения служат, в ряде случаев, безальтернативным источником, на основании которого, возможно получить представление о величине данных параметров.

Эффективность применения гамма-каротажа при исследовании олигоцен-четвертичной толщи, сложенной песчано-глинистыми разностями, определяется физическими предпосылками метода.

Высокая степень неоднородности пород обуславливает необходимость проведения их классификации с учетом размера частиц и глинистости, в значительной степени определяющих фильтрационные свойства.

Для прогноза гранулометрического состава (медианного диаметра частиц), коэффициента фильтрации и водопроницаемости пород олигоценового горизонта, а также удельного дебита скважин могут быть использованы статистические связи между перечисленными параметрами и величиной двойного разностного параметра естественной радиоактивности.

Отсутствие комплекса исходных материалов, включающих одновременное определение коэффициента фильтрации по данным лабораторного исследования образцов пород и гидродинамических испытаний скважин не позволяет сопоставить результаты, полученные различными способами. Данный вопрос задает вектор развития научных исследований в этой области.

Впервые предложена методика прогнозной оценки фильтрационных свойств пород по материалам гамма-каротажа, прошедшая апробацию в Шаимском нефтегазоносном районе. Это определяет научную новизну работы.

Ее применение рекомендуется в условиях отсутствия результатов гидродинамических испытаний скважин при выборе наиболее перспективных участков для постановки опытно-фильтрационных работ, при проведении поисково-разведочных работ на подземные воды питьевого и технического водоснабжения, в том числе на водозаборах нефтегазовых месторождений Западной Сибири.

На основе результатов, приведенных в данной главе, формулируется третье защищаемое положение:

Разработана и апробирована методика прогнозной оценки фильтрационных свойств пород по данным гамма-каротажа, обеспечивающая достаточно объективную гидрогеологическую характеристику олигоценового горизонта на ранних стадиях и снижающая затраты за счёт сокращения объёма гидродинамических испытаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения диссертационной работы достигнута поставленная цель и решены все задачи, что позволяет сформулировать следующие основные выводы:

1. В пределах западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна для подземных вод олигоценового горизонта установлена стабильная субширотная зональность минерализации, концентраций натрия в сумме с калием, гидрокарбонатов, общего железа, марганца и кремния, отражающая природные условия формирования. Определено, что ведущим техногенным фактором, вызывающим локальные изменения минерализации и ионно-солевого состава вод, является интенсивная эксплуатация водозаборов.

2. Обоснованы зависимости химического состава подземных вод олигоценового горизонта от литологии водовмещающих отложений: относительное содержание ионов натрия, калия и хлора определяется степенью контакта с глинами тавдинской свиты, а минерализация – соотношением мощностей глинистых и песчаных прослоев в перекрывающей эксплуатируемый интервал толще.

3. Разработана и апробирована методика прогнозной оценки фильтрационных свойств пород по данным гамма-каротажа, обеспечивающая достаточно объективную гидрогеологическую характеристику олигоценового горизонта на ранних стадиях и снижающая затраты за счёт сокращения объёма гидродинамических испытаний.

4. Систематизированная гидрогеохимическая информация использована автором при оценке запасов подземных вод олигоценового горизонта в целях хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения. Выявленные особенности химического состава, отражающие как природно-обусловленные процессы формирования, так и последствия техногенного воздействия, принимаются во внимание при интерпретации данных мониторинга месторождений подземных вод на территории исследования.

5. Разработанный комплект картографических и аналитических материалов (карты химического состава вод, зависимости фильтрационных параметров по данным гамма-каротажа, карта перспективных интервалов) позволяет прогнозировать эксплуатационные характеристики олигоценового горизонта для целей водоснабжения на новых участках.

Таким образом, установлены закономерности формирования гидрогеохимического режима олигоценового горизонта в условиях техногенеза и представлена научно-методическая основа для прогнозной оценки его фильтрационных параметров.

Перспективным направлением дальнейших исследований является изучение техногенного влияния на показатели качества основного источника питьевого водоснабжения, в том числе в результате интенсивного сосредоточенного отбора воды из скважин, изучение процессов взаимодействия воды с породами с применением современных методов термодинамических расчетов равновесия подземных вод с карбонатами, алюмосиликатами и другими минералами.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- ВСЕГЕИ – Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского;
- ГИДЭК – гидрогеологическая и геоэкологическая компания;
- ГИС – геофизические исследования скважин;
- ЗапСибНИГНИ – Западно-Сибирский научно-исследовательский геологоразведочный нефтяной институт;
- ЗСМБ – Западно-Сибирский мегабассейн;
- ММП – многолетнемерзлые породы;
- НГР – нефтегазоносный район;
- ОАО – открытое акционерное общество;
- ООО – общество с ограниченной ответственностью;
- Отн.ед – относительные единицы;
- ПДК – предельно-допустимая концентрация;
- ППД – поддержание пластового давления;
- СанПиН – санитарные нормы и правила;
- СГЧ – сумма глинистых частиц;
- СМП – сезонно-мерзлые породы;
- СОП – средняя относительная погрешность прогноза;
- СП – санитарные правила;
- СУ – строительное управление;
- ТКГРЭ – Тюменская комплексная геологоразведочная экспедиция
- ФГУП – федеральное государственное унитарное предприятие.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдрахманов, Р.Ф. Влияние нефтедобывающего техногенеза на литолого-гидрогеохимическое состояние зоны гипергенеза / Р.Ф. Абдрахманов, В.Г. Попов // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. – 2014. – Т. 19, № 2. – С. 65-78. – EDN SEYZIZ.
2. Абдрахманов, Р.Ф. Геохимия подземных вод гипергенеза Южного Урала / Р.Ф. Абдрахманов, В.Г. Попов // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2011. – № 2. – С. 43-49. – EDN OWFXWN.
3. Алекин, О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алекин. – Л : Гидрометеорологическое издательство, 1953. – 297 с.
4. Альтовский М.Е. Справочник гидрогеолога / М.Е. Альтовский. – М : Госгеолтехиздат, 1962. – 616 с.
5. Ананьев, С.А. Развитие территории центральной части Западно-Сибирской равнины в олигоцен - четвертичное время / С.А. Ананьев, И.В. Носков, К.И. Носков // Вестник евразийской науки. – 2021. – Т. 13, № 1. – С. 1. – EDN SXMSJB.
6. Аулова, Д.Ю. Оценка влияния глинистости на фильтрационно-емкостные свойства коллектора / Д.Ю. Аулова, В.С. Жуков, В.В Моторыгин [и др.] // Газовая промышленность. – 2015. – №4 (721). – С. 29-32.
7. Беспалова, Ю.В. Техногенные гидрогеологические системы Каменного месторождения нефти / Ю.В. Беспалова, В.М. Матусевич, Р.Н Абдрашитова // Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии Урала и сопредельных территорий : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Екатеринбург, 20–21 декабря 2011 года / Грязнов О.Н. (ответственный редактор). – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет. – 2011. – С. 128-130. – EDN UDBLUJ.

8. Бешенцев, В.А. Повышенные концентрации железа в пресных подземных водах Западной Сибири / В.А. Бешенцев, Л.А. Ковяткина // Научный Лидер. – 2021. – № 6(8). – С. 4-6. – EDN WZALST.

9. Бешенцев, В.А. Техногенное воздействие нефтегазового комплекса на криолитозону севера Западной Сибири / В.А. Бешенцев, Т.В. Семенова // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации) : Материалы Девятой Международной научно-технической конференции (посвященной 100-летию со дня рождения Протозанова Александра Константиновича), Тюмень, 10–11 декабря 2014 года. Том 2. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет. – 2014. – С. 171-174. – EDN TOZLRD.

10. Бешенцев, В.А. Техногенная трансформация подземных вод Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона / В.А. Бешенцев // Горные ведомости. – 2015. – № 6. – С. 20-36.

11. Бешенцев, В.А. Формирование техногенных гидрогеологических систем на территории Ямало-Ненецкого автономного округа / В.А. Бешенцев, А.А. Пономарев // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2009. – № 2. – С. 123-135. – EDN JWNQBD.

12. Бешенцев, В.А. Экология подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа / В.А. Бешенцев, Ю.К. Иванов, О.Г. Бешенцева. – Екатеринбург : Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2005. – 165 с.

13. Боровский, Б.В. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек / Б.В. Боровский, Б.Г. Самсонов, Л.С. Язвин. – М : Недра, 1979. – 326 с.

14. Бурков, Ф.А. Геофизические исследования скважин / Ф.А. Бурков, В.П. Исаев, Г.А. Лобова – Томск : ТПУ, 2017. – 110 с.

15. Вашурина, М.В. Влияние техногенеза на изменение химического состава пресных подземных вод в условиях многолетней разработки центральной части Самотлорского месторождения нефти / М.В. Вашурина, А.Л. Храмцова, Ю.О. Русакова, Ю.К. Васильев // Геология, геофизика и

разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2023. – № 3(375). – С. 53-59. – DOI 10.33285/2413-5011-2023-3(375)-53-59

16. Вашурина, М.В. Изучение закономерностей формирования химического состава подземных вод атлым-новомихайловского водоносного горизонта в условиях разработки центральной части Самотлорского месторождения нефти методом главных компонент / М.В. Вашурина, Ю.О. Русакова, А.Л. Храмцова, Р.И. Тимшанов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2022. – № 3(363). – С. 66–72. – DOI: 10.33285/2413-5011-2022-3(363)-66-72.

17. Вашурина, М.В. Изучение состояния пресных подземных вод в условиях интенсивного освоения Красноленинского месторождения / М.В. Вашурина, Ю.О. Русакова, А.Л. Храмцова. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2019. – № 11. – С. 51-59. – DOI 10.30713/2413-5011-2019-11(335)-51-59

18. Вашурина, М.В. Изучение состояния пресных подземных вод в условиях освоения нефтяных месторождений юго-западной части Томской области / М.В. Вашурина, Ю.О. Русакова, А.Л. Храмцова. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2020. – № 8. – С. 64-73. – DOI 10.30713/2413-5011-2020-8(344)-64-73

19. Вашурина, М.В. Качественная оценка защищенности пресных подземных вод от загрязнений при эксплуатации водозаборов в пределах Среднеобской нефтегазоносной области Западной Сибири / М.В. Вашурина, Ю.О. Русакова, А.Л. Храмцова. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2014. – № 10.– С.5-11

20. Вашурина, М.В. Макрокомпонентный состав пресных подземных вод в естественном и нарушенном состояниях в пределах территории широтного Приобья / М.В. Вашурина, Ю.О. Русакова, А.Л. Храмцова // Нефтепромысловое дело. – 2021. – № 6(630). – С. 29-36. – DOI 10.33285/0207-2351-2021-6(630)-29-36

21. Вашурина, М.В. Макрокомпонентный состав пресных подземных вод в естественном и нарушенном состоянии на территории Вартовского нефтегазоносного района / М.В. Вашурина, Ю.О. Русакова, А.Л. Храмцова. // Подземная гидросфера : Материалы XXIII Всероссийского совещания по подземным водам востока России с международным участием, Иркутск, 20–26 июня 2021 года. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН. – 2021. – С. 316-320. – DOI 10.52619/978-5-9908560-9-7-2021-23-1-316-320

22. Вашурина, М.В. Прогноз изменения гидрохимического облика пресных подземных вод в условиях интенсивного нефтяного освоения Западной Сибири / М.В. Вашурина, Ю.О. Русакова, А.Л. Храмцова. // Академический журнал Западной Сибири. – 2017. – Т. 13. № 4 (71). – С.6-9.

23. Вашурина, М.В. Прогноз состояния пресных подземных вод в условиях интенсивного нефтяного освоения Западной Сибири // М.В. Вашурина, Ю.О. Русакова, А.Л. Храмцова // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2018. – № 3(129). – С. 7-13. – DOI 10.31660/0445-0108-2018-3-7-13.

24. Вашурина, М.В. Химический состав пресных подземных вод в естественном и нарушенном состояниях на территории юго-западной части ХМАО – Югры // М.В. Вашурина, Ю.О. Русакова, А.Л. Храмцова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2018. – № 7. – С. 44-51. – DOI 10.30713/2413-5011-2018-7-44-51.

25. Вашурина, М.В. Химический состав пресных подземных вод в естественном и нарушенном состояниях на территории центральной части Вартовского нефтегазоносного района / М.В. Вашурина, Ю.О. Русакова, А.Л. Храмцова. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2020. – № 8. – С. 64-73. – DOI 10.30713/2413-5011-2020-8(344)-64-73

26. Вах, Е. А. Характер поведения редкоземельных элементов в системе "вода-порода" при формировании углекислых гидрокарбонатных

минеральных вод Приморья / Е.А. Вах, Н.А. Харитонова, А.С. Вах // Разведка и охрана недр. – 2013. – № 5. – С. 41-46. – EDN QAMKKB.

27. Вопросы геологии кайнозоя и инженерной геологии нефтегазоносных районов Западной Сибири : труды / ЗапсибНИГНИ ; ред. П.П. Генералов. – Тюмень : ЗапсибНИГНИ. –1979. – 139 с.

28. Вуколов, Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL / Э.А. Вуколов. – М : Форум. – 2008. – 464 с.

29. Гарелс, Р.М. Растворы, минералы, равновесия / Р.М. Гарелс, И.Л. Крайст. – М : Мир, 1968. – 368 с.

30. Геокартирование на основе сплайн-аппроксимационного подхода : монография / А.Г. Плавник, А.Н. Сидоров, А.А. Сидоров, Э.С. Торопов. – Тюмень : ТИУ, 2021. – 189 с.

31. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода: в 5 томах. Т. 1: Система вода-порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование / В.А. Алексеев [и др.]; отв. ред. тома С. Л. Шварцев; ОИГГМ СО РАН [и др.]. – Издательство СО РАН. – 2005. – 244 с.

32. Геохимия минеральных вод и газов мухенского месторождения (Дальний Восток) / Н.А. Харитонова, Г.А. Челноков, В.В. Кулаков, Н.Н. Зыкин // Тихоокеанская геология. – 2008. – Т. 27, № 6. – С. 82-91. – EDN LMCBMV.

33. Гидрогеология СССР, том XVI, Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области) / ВСЕГИНГЕО; под ред. А. В. Сидоренко. – М : Недра, 1970. – 368 с.

34. Горбачев, Ю.И. Геофизические исследования скважин / Ю.И. Горбачев. – М : Недра, 1990. – 338 с.

35. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист О-41 –

Екатеринбург. Объяснительная записка. – Санкт-Петербург : Картфабрика ВСЕГЕИ. – 2011. – 492 с.

36. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Западно-Сибирская. Лист О-42 – Тобольск. Объяснительная записка. – Санкт-Петербург : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. – 2009. – 300 с.

37. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Уральская серия – Лист Р-41 (Ивдель). Объяснительная записка. – Санкт-Петербург : Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ. – 2007. – 318 с.

38. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Западно-Сибирская. Лист Р-42 – Ханты-Мансийск. / В.А Денисов, Л.И. Зылева, Е.К. Ковригина, В.Е. Козырев и др. – Санкт-Петербург : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. – 2011. – 343 с.

39. Гринбаум, И.И. Геофизические методы определения фильтрационных свойств горных пород / И.И. Гринбаум. – М : Недра, 1965. – 188 с.

40. Губин, В. И. Статистические методы решения инженерных задач / В.И. Губин, В.Н. Осташков. – Тюмень : Вектор Бук, 2006. – 195 с.

41. Гуревич, М.С. Подземные воды и растворенные газы Западно-Сибирской низменности. / М.С. Гуревич // Тр. ВСЕГЕИ. Л : Гостехиздат, 1952. – 178 с.

42. Гусева, Н.В. О взаимосвязях химического состава и качества болотных, подземных и речных вод на территории Томской области / Н.В. Гусева, О.Г. Савичев // Торфяные болота Сибири: функционирование, ресурсы, восстановление : Материалы Четвертой международной научной конференции, Томск, 01–08 октября 2021 года / Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа-филиал Сибирского федерального научного центра агроботехнологий РАН;

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН; Nature and Biodiversity Conservation Union. – Томск: Издательство Ипполитова. – 2021. – С. 25-27. – EDN KSAAEF.

43. Дюбрюль, О. Гео статистика в нефтяной геологии / О. Дюбрюль. – Москва, Ижевск : Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009. – 256 с.

44. Ершов Э.Д. Геокриология СССР. Западная Сибирь / Э.Д. Ершов. – М : Недра, 1989. – 454 с.

45. Закутин, В.П. Аммонийсодержащие подземные воды (условия их формирования и распространения) / В.П. Закутин, Н.Н. Черунова, Д.А. Фетисенко // Водные ресурсы. – 1995. – Т.22. – №6. – С. 726-737.

46. Зверев, В.П. Подземные воды земной коры и геологические процессы / В.П. Зверев. – М : Научный мир, 2006. – 256 с.

47. Земскова, И.М., Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна / И.М. Земскова, Ю.К. Смоленцев, М.П. Полканов и др. – М : Недра, 1991. – 262 с.

48. Злобина, В. Л. Трансформация состава и свойств подземных вод при изменении окружающей среды. Монография – М : Мир науки, 2017. – Режим доступа: <http://izd-mn.com/PDF/21MNNPM17.pdf>.

49. Иванова, И.С. Железосодержащие воды Томской области / И.С. Иванова, О.Е. Лепокурова, С.Л. Шварцев // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 11. – С. 58-67. – EDN NSHHYB.

50. Иванова, И. С. Формы миграции марганца в подземных водах Южной части Среднеобского бассейна (западная Сибирь) / И. С. Иванова // Гидрогеология и карстование : Межвузовский сборник научных трудов. Том Выпуск 19. – Пермь-Оренбург: Пермский государственный национальный исследовательский университет. – 2013. – С. 112-118. – EDN ISPNST.

51. Иванова, И.С. Химический состав питьевых подземных вод юго-западной части Томской области / И.С. Иванова, О.Е. Лепокурова // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318, № 1. – С. 145-149. – EDN NDNXAH.
52. Итенберг, С.С. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин / С.С. Итенберг. – М : Недра, 1987. – 375 с.
53. Казак, Е.С. Изучение миграции железа в подземных водах (на примере воронежских водозаборов) / Е.С. Казак // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2010. – № 6. – С. 503-510. – EDN NCKQRV.
54. Карцев, А.А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений / А.А. Карцев. – М : Недра, 1972. – 280 с.
55. Керкис Е.Е. Методы изучения фильтрационных свойств горных пород / Е.Е. Керкис. – Л : Недра, 1975. – 231 с.
56. Кирюхин, В.А. Гидрогеохимия / В.А. Кирюхин, А.И. Коротков, С.Л. Шварцев – М : Недра, 1993. – 384 с.
57. Кирюхин, В.А. Прикладная гидрогеохимия / В.А. Кирюхин – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский горный ин-т., 2010. – 202 с.
58. Классификация горных пород и упорядочение на ее основе геологической документации / П.А. Новосельцев // Разведка, каптаж и охрана подземных вод Тюменской области : сб. науч. тр. – Тюмень : Главтюменьгеология, ЗапСибНИГНИ. – 1986. – Вып. 204. – С.128.
59. Климентов, П. П. Динамика подземных вод / П. П. Климентов, В.М. Кононов. – М : Высш.шк., 1985. – 384 с.
60. Ковяткина, Л.А. Зональность техногенеза Западно-Сибирского мегабассейна / Л.А. Ковяткина // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна : Четвертая всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 50-летию Тюменского государственного нефтегазового университета, Тюмень, 27–28 апреля 2006 года /

Ответственный редактор: Туренко С.К.. Том 1. – Тюмень : Издательство "ВекторБук". – 2006. – С. 115. – EDN UIRESH.

61. Ковяткина, Л.А. Оценка экологического состояния подземных вод на нефтепромысловых районах Западной Сибири / Л.А. Ковяткина, В.А. Матусевич // Экологические проблемы гидрогеологии. Восьмые толстихинские чтения : Материалы научно-методической конференции, Санкт-Петербург, 16–17 сентября 1999 года / Министерство образования Российской Федерации. Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет). – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова. – 1999. – С. 86. – EDN UHOMMT.

62. Козырев, В.И. Изучение природнотехногенной системы "водоносный пласт-скважина" с использованием прецизионных гидрогеологических наблюдений на водозаборах Тюменской области : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Козырев Владимир Иванович, Тюмень, 2023. – 138 с. – EDN JACISQ.

63. Козырев, В.И. Условия формирования пресных подземных вод в пределах Среднеобского бассейна стока / В.И. Козырев, И.И. Малахова, Л.В. Тимушева и др. // Материалы Десятой Международной научно-технической конференции (посвященной 60-летию Тюменского индустриального университета). Том 1 «Геология, геофизика, геотермия и геокриология. Экология, промышленная безопасность». – Тюмень : ТИУ. – 2016. – С. 137-139.

64. Коровин, М.О. Определение количественных параметров фильтрационной анизотропии на основе комплексных данных геофизических и гидродинамических исследований скважин / М.О.Коровин, В.П. Меркулов // Нефтепромысловое дело. – 2015. – № 1. – С. 24-30.

65. Косков, В.Н. Оценка фильтрационных интервалов в разрезах нефтяных скважин по данным скважинных исследований / В.А. Косков,

В.А. Шардаков // Вестник Пермского университета. Геология. – 2010. – № 1. – С. 69-74.

66. Косков, Б.В. Геофизические исследования скважин и интерпретация данных ГИС / В.Н. Косков, Б.В. Косков. – Пермь : Пермский государственный технический университет. – 2007. – 316 с.

67. Косков, В.Н. Установление литологической принадлежности и коллекторских свойств терригенных пластов по промыслово-геофизическим данным Баклановского месторождения / В.Н. Косков. // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – Т.16 – № 1. – С.9-11. – DOI:10.1593/2224-9923/2017.1.1.

68. Крайнов, С.Р. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. / С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, В.М. Швец. – М : ЦентрЛитНефтегаз. –2012. – 672 с.

69. Крайнов, С.Р. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения / С.Р. Крайнов, В.М. Швец. – М : Недра, 1987. – 237 с.

70. Курчиков, А.Р. Проблемы водоснабжения населения Ханты-Мансийского автономного округа питьевой водой в условиях интенсивного освоения / А.Р. Курчиков, М.В. Вашурина, В.И. Козырев. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. – №8. – С. 7-13.

71. Латышова, М.Г. Обработка и интерпретация материалов геофизических исследований скважин / М.Г. Латышова, Б.Ю Вендельштейн, В.П. Тузов, – М : Недра, 1990. – 312 с.

72. Латышова, М.Г. Практическое руководство по интерпретации данных ГИС / М.Г. Латышова, В.Г. Мартынов, Т.Ф. Соколова. – М : ООО «Недра - Бизнесцентр», 2007. – 327 с.

73. Лепокурова, О.Е. Содовые подземные воды Юга-востока Западной Сибири: определение и распространение / О.Е. Лепокурова // Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии : Материалы Всероссийской конференции с международным участием с элементами научной школы, Томск, 23–27

ноября 2015 года / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 2015. – С. 172-177. – EDN VDZOUL.

74. Лехов, В.А. Экспериментальное определение коэффициента фильтрации и коэффициента диффузии в слабопроницаемых отложениях / В.А. Лехов, В.Н. Соколов. Геоэкология. // Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2017. – № 3. – С. 67-75.

75. Малолетко, А.М. Эволюция речных систем Западной Сибири в мезозое и кайнозое. – Томск : Томский государственный университет, 2008. – 288 с.

76. Матусевич, В.М. Геохимия подземных вод Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. – М : Недра, 1976. – 157 с.

77. Матусевич, В.М. Нефтегазовая гидрогеология В 2 ч. Ч. 1. Теоретические основы нефтегазовой гидрогеологии / В.М. Матусевич, Л.А. Ковяткина. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2010. – 116 с.

78. Матусевич, В.М. Нефтегазовая гидрогеология В 2 ч. Ч. 2. Нефтегазовая гидрогеология Западно-Сибирского мегабассейна / В.М. Матусевич, Л.А. Ковяткина. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2010. – 108 с.

79. Матусевич, В.М. Определяющие факторы техногенеза на примере Тобольского, Среднеобского, Тазовского бассейнов стока подземных вод / В.М. Матусевич, Л.А. Ковяткина, Ю.В. Беспалова // Фундаментальные исследования. – 2015. – №2 (часть 6). – С. 1238-1241.

80. Матусевич, В.М. Техногенные гидрогеологические системы нефтегазоносных районов Западной Сибири / В. М. Матусевич, Л. А. Ковяткина // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1997. – № 1. – С. 41-47. – EDN SXUCBF.

81. Меркулов, В.П. Геофизические исследования скважин / В.П. Меркулов – Томск : ТПУ, 2016. – 146 с.

82. Мусин, Р.Х. Геохимия пресных подземных вод в областях нефтяного техногенеза (на примере Татарстана) / Р.Х. Мусин, З.Г. Калкаманова // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. – 2015. – № 2(12). – С. 12. – EDN VJXFYH.

83. Недоливко, Н.М., Влияние гранулометрического и минералогического состава на формирование коллекторских свойств песчаников пласта Ю1 3 Западно-Моисеевского участка Двуреченского месторождения (Томская область) // Н.М. Недоливко, А.В. Ежова, Т.Г. Перевертайло, Е.Д. Полумогина // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 5. – С. 48-54.

84. ОСТ 41-05-263-86 «Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре» ВСЕГИНГЕО, Москва, 1986 г., 14 с. //: [сайт]. – URL: <https://www.geokniga.org/books/32102> (дата обращения: 07.12.2024)

85. Пиннекер, Е.В. и др. Основы гидрогеологии. Геологическая деятельность и история воды в земных недрах / Е.В. Пиннекер, Б.И. Писарский, С.Л. Шварцев – Новосибирск : Наука, 1982. – 237 с.

86. Плавник, А.Г. Обобщенная сплайн-аппроксимационная постановка задачи картирования свойств геологических объектов / А.Г. Плавник // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, – № 7. – С. 1027–1037.

87. Плотников, Н.И. Техногенные изменения гидрогеологических условий / Н.И. Плотников – М : Недра, 1989. – 268 с.

88. Попов, В. Г. Введение в обменно-адсорбционную концепцию формирования подземных вод: структура и ионообменные свойства глинистых минералов, кинетика процессов / В.Г. Попов, Р.Ф. Абдрахманов // Геологический сборник. – 2014. – № 11. – С. 233-242. – EDN YHMGIR.

89. Попов, В. Г. Процессы ионообменной адсорбции в гидростратисфере / В.Г. Попов, Р.Ф. Абдрахманов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2016. – № 1. – С. 81-86. – EDN VSUIWZ.

90. Поротов, Г.С. Математические методы моделирования в геологии / Г.С. Поротов. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный горный институт, 2006. – 223 с.
91. Посохов, Е.В. Общая гидрогеохимия. Л. : Недра, 1975. – 208 с.
92. Посохов, Е.В. Формирование химического состава подземных вод (основные факторы) / Е.В. Посохов. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1969. – 332 с.
93. Розин, А.А. Подземные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна и их формирование / А.А. Розин. – Новосибирск : Наука, 1977. – 101 с.
94. Русакова, Ю.О. Анализ основных факторов, определяющих значение удельного дебита водозаборной скважины / Ю.О. Русакова, А.Г. Плавник, М.В. Вашурина, А.Л. Храмцова // Известия Уральского государственного горного университета. – 2023. – № 1(69). – С. 78-87. – DOI 10.21440/2307-2091-2023-1-78-87.
95. Русакова, Ю.О. Анализ природных факторов формирования химического состава подземных вод олигоценового горизонта в западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна / Ю.О. Русакова // Practice GeoChemistry 2025 : сборник тезисов IV научно-практической конференции по нефтяной гидрогеологии, геохимии и гидродинамическому моделированию (IV научно-практическая конференция по нефтяной гидрогеологии, геохимии и гидродинамическому моделированию Practice GeoChemistry 2025), Казань, 26–27 июня 2025 года. – Новокузнецк: Знание-М, 2025. – С. 258-261.
96. Русакова, Ю. О. Динамика изменения значений показателей техногенного загрязнения пресных подземных вод атлым-новомихайловского водоносного комплекса на Самотлорском (южная часть) лицензионном участке / Ю.О. Русакова, М.В. Вашурина. // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна : Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 100-летию

Байбакова Николая Константиновича, Тюмень, 15 апреля 2011 года. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2011. – С. 215-216

97. Русакова, Ю. О. Литологический состав пород как фактор влияния на химический состав подземных вод олигоценового горизонта в западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна // Известия Уральского государственного горного университета. – 2025. – № 3(79). – С. 49-62. – DOI 10.21440/2307-2091-2025-3-49-62

98. Русакова, Ю.О. Основные закономерности пространственно-временного состояния химического состава подземных вод олигоценового водоносного горизонта в Шаимском нефтегазоносном районе / Ю.О. Русакова, А.Г., Плавник, М.В. Вашурина Л.А. Ковяткина, А.Л. Храмцова, С.А. Шешуков // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2024. – № 5(167). – С. 46-63. – DOI 10.31660/0445-0108-2024-5-46-63

99. Русакова Ю.О. Поиск перспективных интервалов эксплуатации куртамышского водоносного горизонта с использованием метода естественной радиоактивности / Ю.О. Русакова // Научная территория: технологии и инновации : Материалы Международной научно-практической конференции, Тюмень, 17–18 ноября 2022 года / Отв. редактор В.А. Чейметова. Том I. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 55-57.

100. Русакова, Ю.О. Применение данных геофизических исследований для прогноза производительности водозаборных скважин в северной части Шаимского нефтегазодобывающего района / Ю.О. Русакова, А.Г. Плавник, Л.А. Ковяткина // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2022. – № 4(154). – С. 41-56. – DOI 10.31660/0445-0108-2022-4-41-56

101. Русакова, Ю.О. Применение метода естественной радиоактивности для прогноза литологического состава и фильтрационных свойств пород олигоценового водоносного горизонта / Ю.О. Русакова

А.Г. Плавник, Л.А. Ковяткина // Известия Уральского государственного горного университета. – 2023. – № 3(71). – С. 100-111. – DOI 10.21440/2307-2091-2023-3-100-111.

102. Русакова, Ю.О. Прогноз сохранения благоприятного качества пресных подземных вод территории Среднеобского бассейна ХМАО-Югра (на основании обзора данных мониторинга водозаборов нефтяных месторождений) / Ю.О. Русакова, М.В. Вашурина, А.Л. Храмцова. // Академический журнал Западной Сибири. – 2016. – Т. 12. № 3 (64). – С 70-73.

103. Русакова, Ю.О. Решение прикладных задач гидрогеологии с использованием метода гамма-каротажа / Ю.О. Русакова // Подземная гидросфера : материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXIV Совещание по подземным водам востока Сибири и Дальнего Востока с международным участием), Екатеринбург, 21–28 июня 2024 года. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН. – 2024. – С. 61-64.

104. Русакова, Ю.О. Факторы формирования химического состава подземных вод олигоценового водоносного горизонта в западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна // Известия Уральского государственного горного университета. – 2025. – № 1(77). – С. 84-94. – DOI 10.21440/2307-2091-2025-1-84-94

105. Савич, С.Л. Влияние промораживания и криогенеза на свойства почв / С.Л. Савич, С. Л. Белопухов, П. Н. Балабко и др. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 1(45). – С. 52-56. – DOI 10.36508/RSATU.2020.45.1.009. – EDN IRMZAV.

106. Савичев, О.Г. Закономерности пространственных изменений химического состава подземных вод верхней гидродинамической зоны в Томской области (Западная Сибирь) / О.Г. Савичев, О.А. Камнева // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 1. – С. 138-143. – EDN MVMAGD.

107. Савичев, О.Г. Пространственно-временные изменения минерализации подземных вод в бассейне Средней Оби / О.Г. Савичев, О. А. Камнева // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 11. – С. 67-70. – EDN NSHHYL.

108. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Постановление Главного Государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 №2 : с изм. От 30.декабря 2022 г. // Docs.cntd.ru : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 29.10.2024).

109. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016613075 Российская Федерация. Программа Ovod (Оптимальный водозабор). Москва : ФИПС: опубл. (зарег.) 16.03.2016 / М.С. Шутов.

110. Свидетельство о регистрации программы GST в Реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам № 2005612939 / А.Н. Сидоров, А.Г. Плавник, А.А. Сидоров и др. – 2005.

111. Смоленцев, Ю.К. Пресные подземные воды Западно-Сибирского мегабассейна (формирование и практическое использование) : специальность 04.00.06 «Гидрогеология» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Смоленцев Юрий Константинович. – Иркутск, 1996. – 50 с. – EDN ZLMNPD.

112. Смоленцев, Ю.К. Состав питьевых подземных вод Западно-Сибирского мегабассейна как биогидрогеохимический фактор эндемических заболеваний населения / Ю.К. Смоленцев // Гидрогеологические и инженерно-геологические условия освоения Западной Сибири. – 1991. – С. 63-75.

113. Смоленцев, Ю.К. Основные региональные гидрогеохимические закономерности зоны гипергенеза Западно-Сибирской платформы // Проблемы региональной гидрогеохимии. – Ленинград. – 1979. – С. 87-88.

114. Тагильцев, В. С. Гидрогеодинамические основы рациональной эксплуатации водозаборов и охраны подземных вод в нефтедобывающих районах Западной Сибири : специальность 25.00.07 "Гидрогеология" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Тагильцев Викентий Сергеевич. – Екатеринбург, 2013. – 22 с. – EDN ZOVQLH.

115. Тагильцев, С.Н. Особенности опробования и эксплуатации слоистых водоносных пластов с перетеканием / С.Н. Тагильцев, В.С. Тагильцев // Сборник трудов I Научно-практической конференции по вопросам водообеспечения (гидрогеологии) : Сборник трудов I Научно-практической конференции по вопросам водообеспечения (гидрогеологии), Ижевск, 09–10 апреля 2019 года. – Ижевск: Институт компьютерных исследований. – 2019. – С. 97-104. – EDN JPRAPT.

116. Торопов, Г.В. Особенности формирования химического состава природных вод на территории Уренгойского нефтегазодобывающего региона (на примере Уренгойского НГКМ) / Г.В. Торопов, В.А. Бешенцев // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. – 2013. – № 4. – С. 115-124. – EDN QZKOLX.

117. Трофимова, Н.С. Окислительно-восстановительная обстановка вод олигоцен-четвертичных отложений юга Тюменской области / Н.С. Трофимова. // Практическое использование и охрана подземных вод Западно-Сибирского мегабассейна : межвузовский сборник научных трудов – 1990. – С. 73-76.

118. Трофимова, Н.С. Характер равновесия грунтовых вод юга Тюменской области с алюмосиликатными горными породами / Н.С. Трофимова, А.В. Трофимов. // Гидрогеологические и инженерно-геологические условия освоения Западной Сибири : межвузовский сборник научных трудов. – 1991. – С. 48-52.

119. Турышев, В.В. Обоснование возможности выделения сложнопостроенных коллекторов тюменской свиты комплексом

радиоактивных методов ГИС / В.В. Турышев // Каротажник. – 2012. – № 12(222). – С. 42-61. – EDN PJDSDB.

120. Турышев, В.В. Способы определения минерального состава глинистого цемента пород-коллекторов Западно-Сибирской низменности по материалам ГИС и петрофизики / В.В. Турышев // Каротажник. – 2013. – № 4(226). – С. 30-39. – EDN PYUSQV.

121. Тютюнова, Ф.И. Гидрогеохимия техногенеза / Ф.И. Тютюнова. – М : Наука, 1987. – 335 с.

122. Хаматдинова Э. Р. Емкостно-фильтрационные свойства эффузивных коллекторов Западной Сибири // Каротажник. – 2008. – № 12(177). – С. 19-35.

123. Харитонов, Н.А. Формирование углекислых минеральных вод месторождения Горноводное (Приморский край, Россия) / Н.А Харитонов, Г.А. Челноков // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2011. – № 6. – С. 543-559. – EDN OJWQCV.

124. Храмова, А.Л., Условия формирования особенностей гидрохимического облика пресных подземных вод на автономном участке Самотлорского месторождения ХМАО-Югры / А.Л. Храмова, Ю.О. Русакова, М.В. Вашурина // Нефтепромышленное дело. – 2016. – № 2. – С. 50-56.

125. Шарипов, Ф. А. Причины техногенного загрязнения вод верхних водоносных горизонтов вследствие разработки нефтяных и газовых месторождений Татарского свода / Ф.А. Шарипов, Т.А. Киреева // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2023. – № 5. – С. 32-39. – DOI 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-5-32-39. – EDN NXIDPP.

126. Шацкий, С.Б. Палеоген и неоген Сибири (палеонтология и стратиграфия) / С.Б. Шацкий. – Новосибирск : Наука, Сибирское отделение, 1978. – 168 с.

127. Шварцев, С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев. 2-е изд., исправл. И доп. – М : Недра, 1998. – 366 с.

128. Шварцев, С.Л. Общая гидрогеология: / С.Л. Шварцев. – М : Альянс, 2012. – 601 с.

129. Шварцев, С.Л. О равновесии артезианских вод Западно-Сибирского бассейна с горными породами / С.Л. Шварцев, В.Г. Иванов, С.А. Юшков. // Геология, гидрогеология и инженерная геология Западной Сибири : межвузовский тематический сборник / Тюменский индустриальный институт – 1982. – С. 32-41.

130. Шубенин, Н.Г. Геохимия железа в подземных водах олигоцен-четвертичных отложений юга Тюменской области / Н.Г. Шубенин, А.В. Трофимов. Пресные и маломинерализованные подземные воды Западной Сибири : межвузовский сборник научных трудов – 1989. – С. 56-64.

131. Шубенин, Н.Г. Гидрогеохимический режим водоносных горизонтов континентальных отложений олигоцен-четвертичного возраста юга Тюменской области / Н.Г. Шубенин, В.Б. Стульников, И.Ф. Хусаинов. // Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии Сибири. – 1975. – № 42. – С. 131-143.

132. Эколого-гидрогеологические проблемы олигоцен-четвертичного комплекса Западно-Сибирского мегабассейна / Ю.В. Гуляева, Л.А. Ковяткина, А.Р. Курчиков, Н.С. Трофимова // Подземная гидросфера : Материалы XXIII Всероссийского совещания по подземным водам востока России с международным участием, (г. Иркутск, 20–26 июня 2021 г.). – Иркутск: Институт земной коры СО РАН. – 2021. – С. 458-462. – DOI 10.52619/978-5-9908560-9-7-2021-23-1-458-462. – EDN ADGQHX.

133. Applications of well logging techniques to evaluate the groundwater aquifers in the area between southwest Bani Sweif and west Asyoute governorate, upper Egypt / S. E. M. Metwally, Sh. M. Elska, F. M. Zarif, A. F. Saad // Kuwait Journal of Science. – 2022. – DOI 10.48129/kjs.17333. – EDN ULVFIO.

134. Assessment of the groundwater for household and drinking purposes in central Kazakhstan / M. Absametov, Ja. Sagin, D. Adenova [et al.] //

Groundwater for Sustainable Development. – 2023. – Vol. 21. – P. 100907. – DOI 10.1016/j.gsd.2023.100907. – EDN LKEWOP.

135. Deep low-salinity groundwater in sedimentary basins: petrophysical methods from a case study in Somalia / E. Quiroga, C. Bertoni, & F. Ruden // *Hydrogeol.* – 2023. – J 31, – p.685–705. <https://doi.org/10.1007/s10040-022-02589-z>

136. Factors controlling groundwater chemical evolution with the impact of reduced exploitation / F. Liu, J. Zou, J. Liu [et al.] // *Catena.* – 2022. – Vol. 214. – P. 106261. – DOI 10.1016/j.catena.2022.106261. – EDN HCZWMB.

137. Geochemical Characteristics and Controlling Factors of Groundwater Chemical Composition in the Zihe River Source Area, Shandong, China / J. You, Yu. Qi, G. Shao, Ch. Ma // *Water.* – 2024. – Vol. 16, №. 2. – p. 298. – DOI 10.3390/w16020298. – EDN DRTPCD.

138. Geochemical evolution and the processes controlling groundwater chemistry using ionic ratios, geochemical modelling and chemometric analysis in uMhlathuze catchment, KwaZulu-Natal, South Africa / V. Elumalai, N. Rajmohan, B. Sithole [et al.] // *Chemosphere.* – 2023. – Vol. 312. – P. 137179. – DOI 10.1016/j.chemosphere.2022.137179. – EDN SERSTP.

139. Hydrogeological study in the Kalaa Khasba plain (northwestern Tunisia). Contribution of well logging and electrical prospecting / M.F Hezzi, R. Guellala., H. Zeyen, et al. // *Euro-Mediterr.* – 2023. *J. Environ Integr* 8, – p. 381–394 DOI/10.1007/s41207-023-00373-3

140. Investigation of petrophysical and hydrogeological parameters of the transboundary Nubian aquifer by combining geophysical and hydrogeological methods: a case study of Khartoum state, Sudan / Musaab Adam Abbakar Mohammed, Norbert P. Szabó, Péter Szűcs, Miskolci Egyetem // *Frontiers in Earth Science.* – 2024. 12 Jan, DOI 10.3389/feart.2023.1295213 <https://orcid.org/0000-0002-0097-0037>

141. Petrophysical and hydrogeological characterization of coastal aquifer using geophysical logs in Lekki Peninsula, Lagos, Nigeria / S. Oladele, R. Salami,

R. S. Dauda // Groundwater for Sustainable Development. – 2023. – Vol. 22. – P. 100971. – DOI 10.1016/j.gsd.2023.100971. – EDN WNIVJF.

142. Rider, M. The geological interpretation of well logs / M. Rider. – 2nd edition. – Scotland : Rider-French Consulting Ltd., 2006. – 281 p.

143. Rusakova, Y.; Plavnik, A.; Abdrashitova, R.; Salnikova, Y.; Wang, X.; Poluyanov, M.; Zaliatdinov, A. Causes of Changes in Mineralization of Underground Drinking Water in the Shaim Oil and Gas Region of the West Siberian Megabasin. Earth. – 2025. – Vol. 6, No. 1. – P. 5. – DOI 10.3390/earth6010005.

144. Sakram Gugulothu, N. Subbarao, Rashmirekha Das & Ratnakar Dhakate Geochemical evaluation of groundwater and suitability of groundwater quality for irrigation purpose in an agricultural region of South India. Published: 25 April 2022 Volume 12, article number 142, (2022) <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01583-w>

145. Understanding the factors contributing to groundwater salinity in the coastal region of Andhra Pradesh, India / N. Subba Rao, R. Das, S. Gugulothu // Journal of Contaminant Hydrology. – 2022. – Vol. 250. – P. 104053. – DOI 10.1016/j.jconhyd.2022.104053. – EDN REZELW.

146. Williams, J. H., & Paillet, F. L. (2023). Geophysical Logging for Hydrogeology. The Groundwater Project. <https://doi.org/10.21083/UQGA6966>

Фондовая

147. Геологическое строение Нижнего Прииртышья. Отчет о результатах групповой геологической съемки масштаба 1:200 000 листов О-41-V, XII, XVIII, XXIV, XXXVI; О-42-I-XIV, XVI-XVIII, XXIII; Р-42-XXXI-XXXIII и геологического доизучения м-ба 1:200 000 листов Р-42-XXXIV-XXXVI : отчет / Ю.П. Черепанов, Т.П. Алексеева [и др.]. – Тюмень : ТКГРЭ Главтюменьгеологии, 1983. – 11 т.

148. Геологическое строение Северного Зауралья. Отчет Сосьвинской ГСП о результатах групповой геологической съемки масштаба 1:200000 листов Р-41-V, VI, XIV-XVIII, XX-XXIV, XXVIII-XXX, XXXIV и

геологического доизучения листов Р-41-II-IV, VIII-XII, проведенных в 1982-89 гг. : отчет / И.И. Смирнов (отв. исп.). – Ханты-Мансийск : ТКГРЭ Главтюменьгеологии, 1989. – 20 т.

149. Геологическое строение Центрального Приобья. Отчет Ханты-Мансийской ГСП о результатах групповой геологической съемки масштаба 1:200000 листов Р-42-III-IV, XIV-XIX, 75-76, 111-112, XXI-XXV, XXVII и геологического доизучения листов Р-42-87-88, 99-100, XXVIII-XXX : отчет / И.Л. Зайонц (отв. исп.). – Ханты-Мансийск : НГО «Хантымансийскгеофизика Главтюменьгеологии, 1984. – 3 т.

150. Гидрогеологические исследования с целью оценки современного состояния и перспективного использования подземных вод питьевого водоснабжения Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (2 этап) : отчет / М.В. Вашурина, В.И. Козырев – Тюмень ЗСФ ИНГГ СО РАН., 2014 – 3 т.

151. Кайнозойский этап развития Западно-Сибирской геосинклизы в пределах Тюменской области : отчет / П.П. Генералов, В.В. Боровский. – Тюмень : ЗапСибГеоНАЦ, 1999. – 1 т.

152. Октябрьское месторождение пресных подземных вод. Отчет Нижнеобской гидрогеологической партии о результатах геологоразведочных работ (совмещенные стадии детальных поисков и предварительная разведка) для водоснабжения Октябрьской КС с подсчетом эксплуатационных запасов по состоянию на 01.01.1989 г. : отчет / О.Г. Бешенцева, В.А. Бешенцев, В.С. Тихонов. – Лабитнанги : Полуйская комплексная геологоразведочная экспедиция, 1988. – 3 т.

153. Отчет по региональной оценке эксплуатационных запасов подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна. Тюменская область : отчет / Ю.К. Смоленцев – Тюмень : ТИИ, 1983. – 3 т.

154. Отчет о результатах детальной разведки на участке водозабора для водоснабжения г. Заводоуковска за 1977-1978 гг. : отчет / Г.А. Ныров, Л.В. Чекалева, Г.А. Арефьева, П.С. Носков – Тюмень : ТКГРЭ

Главтюменьгеологии, 1978. – 3 т.

155. Оценка обеспеченности населения ХМАО ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения (подготовка геологической и геокриологической основы в масштабе 1:1 000 000 и материалов для обобщения на федеральном уровне). Отчет по договору № 2/86-99/6ПВ/99 с КИР по ХМАО : отчет / Р.Б.Крапивнер [и др.]. – Москва : ГИДЭК., 2001 – 2 т.

156. Оценка обеспеченности населения ХМАО ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения (II этап). Отчет о выполнении тематических работ по договору № 14/98 – 94/98 с Департаментом по нефти, газу и минеральным ресурсам ХМАО : отчет /С.С. Палкин [и др.]. – Москва : ГИДЭК, 2001. – 1 т.

157. Подземные воды кайнозойских отложений Западно-Сибирского артезианского бассейна в пределах Тюменской, Томской и северных районов Новосибирской и Омской областей : отчет / Ю.К. Смоленцев, Н. И. Зенков [и др.] – Тюмень - Омск : ЗапСибНИГНИ, 1968. – 1 т.

158. Подсчет запасов Советского месторождения подземных вод по состоянию на 01.01.96 г. Отчет о результатах объединенных стадий разведки пресных подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения пос. Советский в 1990-95 гг. : отчет / Н.Е. Нестерова, Г.А. Поветкина., О.А. Сверчкова. – Тюмень : ТКГРЭ, 1996. – 3 т.

159. Унифицированные региональные стратиграфические схемы неогеновых и палеогеновых отложений Западно-Сибирской равнины: Объяснительная записка : отчет : – Новосибирск : СНИИГГиМС, 2001.– 84 с.

160. Ханты-Мансийское месторождение пресных подземных вод. Отчет Нижнеобской гидрогеологической партии о результатах геолого-разведочных работ для водоснабжения г. Ханты-Мансийская с подсчетом эксплуатационных запасов по состоянию на 01.01.1990 г. : отчет / О.Г. Бешенцева, В.А. Бешенцев, В.В. Апакетов [и др.]. – Лабытнанги : Полу́йская комплексная геологоразведочная экспедиция, 1989. – 3 т.

СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1.1 – Обзорная карта района исследования.....	19
Рисунок 1.2 – Схематическая гидрогеологическая карта района исследования	22
Рисунок 1.3 – Схематические гидрогеологические разрезы района	23
Рисунок 1.4 – Палеогеографическая карта Западно-Сибирской равнины. Ранний-средний олигоцен	27
Рисунок 1.5 – Палеогеографическая карта Западно-Сибирской равнины. Поздний эоцен	28
Рисунок 1.6 – Схематическая карта глубин залегания кровли водоупорного тавдинского горизонта.....	29
Рисунок 2.1 – Распределение анализов воды по ионно-солевому составу (первая группа)	40
Рисунок 2.2 – Графики зависимости минерализации и концентрации: а) основных катионов, б) основных анионов в подземных водах (анализы первой группы):	41
Рисунок 2.3 – Графики зависимости от минерализации концентрации: а) железа и марганца, б) кремния и иона аммония (анализы первой группы)....	42
Рисунок 2.4 – Распределение анализов воды по ионно-солевому составу (вторая группа)	42
Рисунок 2.5 – Графики зависимости от минерализации концентрации: а) основных катионов, б) основных анионов в подземных водах (анализы второй группы)	44
Рисунок 2.6 – Схематические карты пространственного изменения средних значений содержания, мг/дм ³ : а) минерализации; б) гидрокарбонатов	46
Рисунок 2.7 – Схематические карты пространственного изменения средних значений содержания: а) водородного показателя; б) содержания суммы ионов натрия и калия, мг/дм ³	47
Рисунок 2.8 – Схематические карты пространственного изменения средних значений содержания, мг/дм ³ : а) иона аммония; б) кремния	48
Рисунок 2.9 – Схематические карты пространственного изменения средних значений содержания, мг/дм ³ : а) общего железа; б) марганца.....	49
Рисунок 2.10 – График зависимости минерализации подземных вод от глубины залегания интервала опробования	53
Рисунок 2.11 – Схематические карты пространственного изменения: а) глубин залегания интервалов опробования олигоценового горизонта, абс. м.; б) средних значений минерализации подземных вод олигоценового горизонта, мг/дм ³	54

Рисунок 2.12 – Схематические карты средних значений: а) относительного содержания полевых шпатов в легкой фракции песков куртамышской и атлымской свит, % по весу; б) содержания суммы натрия и калия в подземных водах олигоценового водоносного горизонта, мг/дм ³ ; в) содержания кремния в подземных водах олигоценового водоносного горизонта, г/дм ³	58
Рисунок 2.13 – Схематические карты средних значений: а) относительного содержания минералов группы магнетит-ильменит в тяжелой фракции песков куртамышской и атлымской свит, %; б) содержания общего железа в подземных водах, мг/дм ³ ; в) содержания марганца, мг/дм ³ в подземных водах олигоценового горизонта	60
Рисунок 2.14 – Графики: а), в) средних значений величин водоотбора и минерализации подземных вод; б), г) статистической связи средних значений величин водоотбора и минерализации подземных вод.....	63
Рисунок 2.15 – Динамика статистического распределения значений сухого остатка в подземных водах олигоценового горизонта	64
Рисунок 2.16 – Схематические гидрогеохимические карты по состоянию на: а) 1983 г.; б) 2013-2021 гг.:	65
Рисунок 2.17 – Динамика статистического распределения компонентов ионно-солевого состава подземных вод олигоценового горизонта.....	66
Рисунок 2.18 – Литологическое расчленение разреза на основе интерпретации кривой гамма-каротажа.....	71
Рисунок 2.19 – Минеральный состав глинистой фракции эоцен-четвертичных отложений, %.....	74
Рисунок 2.20 – Диаграмма классификации подземных вод Пайпера.....	76
Рисунок 2.21 – Графики соотношения ионов: а) $(r\text{HCO}_3^- + r\text{SO}_4^{2-})$ и $(r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+})$; б) $[(r\text{Na}^+ + r\text{K}^+) - r\text{Cl}^-]$ и $[(r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}) - (r\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})]$	77
Рисунок 2.22 – Статистическая связь средних значений: а) Htv и $\text{Na}^+ + \text{K}^+$; б) Htv и Cl^-	79
Рисунок 2.23 – Статистическая связь средних значений по группам: а) mg и минерализации подземных вод; б) mg и индекса насыщенности карбонатами, (i); в) минерализации и индекса насыщенности карбонатами, (i).	80
Рисунок 2.24 – Статистическая связь средних значений: а) mp и минерализации; б) mp и $\text{Na}^+ + \text{K}^+$; в) mp и и индекса насыщенности карбонатами, (i); г) минерализации и индекса насыщенности карбонатами, (i)	83
Рисунок 3.1 – Интерпретация кривых ГК водозаборной (1701н) и нефтяной разведочной (00002р) скважин в Шаимском НГР	94

Рисунок 3.2 – Интерпретация каротажной диаграммы водозаборной скважины бп Октябрьского МППВ.....	95
Рисунок 3.3 – Интерпретация каротажной диаграммы водозаборной скважины 53Н1 Заводоуковского МППВ.....	96
Рисунок 3.4 – Интегральные кривые средних значений гранулометрического состава образцов пород: а) Октябрьского МППВ, б) Ханты-Мансийского МППВ.....	99
Рисунок 3.5 – График зависимости СГЧ и $\Delta J \gamma$ пород интервала отбора образцов пород скважины: а) 9п (Советское МППВ); б) 53Н1 (Заводоуковское МППВ).....	103
Рисунок 3.6 – Распределение образцов пород по гранулометрическому составу: а) Октябрьского МППВ, б) Ханты-Мансийского МППВ.....	104
Рисунок 3.7 – График зависимости средних значений по группам $k\phi$ и $d50$	106
Рисунок 3.8 – Графики зависимостей средних значений по группам: а) $d50$ и $\sqrt{\Delta J \gamma}$; б) $k\phi$ и $\Delta J \gamma$	106
Рисунок 3.9 – Графики зависимостей: km и $\Delta J \gamma$	110
Рисунок 3.10 – Графики зависимости: q и $\Delta J \gamma$	111
Рисунок 3.11 – Графики зависимости: а) $\Delta J \gamma$ и km ; б) q и Δh_c	113
Рисунок 3.12 – Графики зависимости: а) $\Delta J \gamma$ и $k\phi$; б) q и $k\phi$	114
Рисунок 3.13 – График зависимости q и $l\phi / \Delta J \gamma$	115
Рисунок 3.14 – Схематические карты значений $\Delta J \gamma$ и прогнозных глубин залегания продуктивных интервалов.....	119

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 2.1 – Фоновые и экстремальные значения показателей химического состава подземных вод олигоценового горизонта.....	39
Таблица 2.2 – Коэффициенты между показателями химического состава подземных вод анализов первой группы.....	40
Таблица 2.3 – Коэффициенты корреляции между показателями химического состава подземных вод анализов второй группы.....	43
Таблица 2.4 – Коэффициенты корреляции между показателями химического состава подземных вод и пространственным положением точек наблюдения.....	44
Таблица 2.5 – Значения показателей химического состава подземных вод олигоценового горизонта в зависимости от физико-географических условий, мг/дм ³	51

Таблица 2.6 – Характерные реакции растворения породообразующих минералов и образование основных компонентов химического состава подземных вод	57
Таблица 2.7 – Средние значения отдельных показателей вещественного состава песков куртамышской и атлымской свит олигоцена (по данным геолого-съёмочных работ), % - ое содержание по весу	59
Таблица 2.8 – Средние значения минерализации подземных вод в зависимости от величины водоотбора из скважин	62
Таблица 2.9 – Литолого-минеральный состав песков толщи олигоцен-четвертичных отложений, %	74
Таблица 2.10 – Показатели химического состава подземных вод олигоценового горизонта	75
Таблица 2.11 – Матрица коэффициентов корреляции основных ионов и минерализации подземных вод, мг/дм ³	75
Таблица 2.12 – Матрица коэффициентов корреляции основных ионов подземных вод, мг-экв/дм ³	76
Таблица 2.13 – Значения индексов насыщенности относительно карбонатов (i) и Schoeller (CAI)	77
Таблица 2.14 – Средние значения относительного содержания основных ионов в подземных водах в группах по величине Htv^*	78
Таблица 2.15 – Средние значения показателей ионно-солевого состава подземных вод в группах по величине mg^*	79
Таблица 2.16 – Средние значения показателей ионно-солевого состава подземных вод в группах по величине mp^*	82
Таблица 3.1 – Исходные материалы для исследования	91
Таблица 3.2 – Классификация осадочных терригенных пород без жестких связей (по П.А. Новосельцеву, 1986 г.) [58]	98
Таблица 3.3 – Средние значения параметров СГЧ и $\Delta J \gamma$ по группам пород: а) Советского, б) Заводоуковского МППВ	103
Таблица 3.4 – Характеристика средних значений $d50$, Cv , $\Delta J \gamma$ и $k\phi$ по группам пород: а) Октябрьского, б) Ханты-Мансийского месторождений; в) среднее значение по месторождениям	105
Таблица 3.5 – Характеристика выборок наблюдений	105
Таблица 3.6 – Прогнозные значения $d50$ и $k\phi$ при известных значениях $\Delta J \gamma$	107
Таблица 3.7 – Характеристика значений водопроницаемости, удельного дебита и двойного разностного параметра естественной радиоактивности на участках исследования	109

Таблица 3.8 – Характеристика параметров группы А, величины дебита и удельного дебита водозаборных скважин	112
Таблица 3.9 – Характеристика параметров группы Б	112
Таблица 3.10 – Коэффициенты корреляции удельного дебита скважин и рассматриваемых параметров	114
Таблица 3.11 – Сравнение глубин залегания продуктивных интервалов и величины двойного разностного параметра естественной радиоактивности водовмещающих пород по месторождениям	118