

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата

геолого-минералогических наук

Тюмень – 2026 г.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тюменский индустриальный университет»

- Научный руководитель:** **Плавник Андрей Гарьевич**
Доктор технических наук, профессор кафедры геологии месторождений нефти и газа Нефтегазового института ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», директор ЗСФ ФГБУН ИНГГ СО РАН, г. Тюмень
- Официальные оппоненты:** **Харитонов娜 Наталья Александровна**
Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрогеологии ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва
- Кононов Александр Матвеевич**
Кандидат геолого-минералогических наук, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск
- Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

Защита состоится 25 сентября 2026 года в 11:00 на заседании диссертационного совета 24.2.419.04 на базе Тюменского индустриального университета по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 70, Нефтегазовый институт, аудитория 312.

С диссертацией можно ознакомиться на сайте ФГБУ ВО Тюменский индустриальный университет» www.tyuiu.ru и в библиотечно-информационном центре ТИУ по адресу: 625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72.

Отзывы, заверенные печатью учреждения, в 2 экземплярах просим направлять по адресу 625001, г. Тюмень, ул. Луначарского 2, Тюменский индустриальный университет, ученому секретарю диссертационного совета 24.2.419.04, Семеновой Татьяне Владимировне.

Тел. 8 (3452) 53-94-73, e-mail: semenovatv@tyuiu.ru

Автореферат разослан 25 июля 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Семенова Татьяна Владимировна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

Олигоценый водоносный горизонт на территории западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна подземных вод 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 являлись предметом исследований ряда ведущих российских ученых. 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 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 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 олигоценого 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 подземных вод. В результате систематизации данных лабораторных анализов образцов пород, проведенных ЗапСибНИГНИ Главтюменьгеологии (П.А. Новосельцев, 1986) разработана детализированная классификация терригенных пород без жестких связей в зависимости от величины их глинистости, наиболее эффективная применительно к 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.

В результате поисково-разведочных работ на углеводороды, начатых на территории исследования в 50-60-е годы прошлого столетия и продолжающиеся в настоящее время, накоплен значительный объем геофизического каротажа скважин различного назначения, особенно нефтяного разведочного бурения. Методика оценки коллекторских свойств нефтяных пластов и глубоких горизонтов подземных вод с применением геофизических исследований скважин широко известна и успешно применяется при подсчете запасов, проектировании и контроле процессов разработки месторождений.

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 каротаж 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 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, 104 лабораторных определений коэффициента фильтрации водовмещающих пород олигоценового 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.

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. 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 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.

Личный вклад автора

Диссертационная 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 коллективах ведущих гидрогеологов как при Тюменском индустриальном университете, так и в Западно-Сибирском филиале Института нефтегазовой геологии и геофизики им. Трофимука Сибирского отделения РАН.

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

Достоверность проведенного диссертационного исследования подтверждается надежностью используемых аналитических данных по химическому составу подземных вод, выполненных аккредитованными лабораториями и прошедших апробацию экспертизой геологической

информации; применением современных методов обработки и интерпретации гидрогеохимической 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 Сессии 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 ВО ТИУ Л.А. Ковяткиной за методическую помощь, всестороннюю

поддержку, а также за 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. Храмовой 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 ВО ТИУ к.г.- м.н. Р.Н. Абрашитовой 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.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обоснована актуальность темы, определены цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, представлены исходные данные и методы исследования.

В первой главе **«Состояние изученности и условия формирования олигоценового водоносного горизонта»** приведен краткий исторический очерк изучения водоносного горизонта и дана характеристика условий формирования на территории Западной Сибири и в районе исследований.

С начала освоения в 50-60-е годы прошлого столетия пресным подземным водам региона посвящен ряд обобщающих работ: «Подземные воды кайнозойских отложений Западно-Сибирского артезианского бассейна в пределах Тюменской, Томской и северных районов Новосибирской и Омской областей» (Ю.К. Смоленцев, Н.И. Зенков, 1968 г.), «Отчет по региональной оценке эксплуатационных запасов подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна. Тюменская область» (Ю.К. Смоленцев, 1983 г.), «Оценка обеспеченности населения ХМАО ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения» (Р.Б. Крапивнер, С.С. Палкин, 2001 г.), «Гидрогеологические исследования с целью оценки современного состояния и перспективного использования подземных вод питьевого водоснабжения Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (2 этап)» (М.В. Вашурина, В.И. Козырев, 2014 г.).

Геологические условия горизонта изучены на основе материалов геологосъемочных работ масштаба 1:200 000 и Государственной геологической карты РФ масштаба 1:1 000 000 (третьего поколения).

Начиная с 2000-х годов, подземные воды олигоценового горизонта на территории исследования эксплуатируются многочисленными водозаборами для питьевого и технического водоснабжения. Данные мониторинга являются важным источником информации о современном химическом составе вод и позволяют детализировать установленные ранее региональные закономерности.

Территория исследования площадью 115,1 тыс. км² расположена в западной краевой части региональной геологической структуры – Западно-Сибирской плиты, включает зоны возвышенностей и низменностей и характеризуется гумидным климатом.

Согласно гидрогеологической стратификации В.М. Матусевича (1984), водоносный олигоценый горизонт входит в состав олигоцен-четвертичного гидрогеологического комплекса Западно-Сибирского мегабассейна. В соответствии со схемой районирования В.А. Нуднера и Ю.К. Смоленцева (1965) относится к Среднеобскому бассейну стока подземных вод. С учетом этих представлений, в настоящей работе для территории исследований используется краткое наименование – западная часть Среднеобского гидрогеологического бассейна.

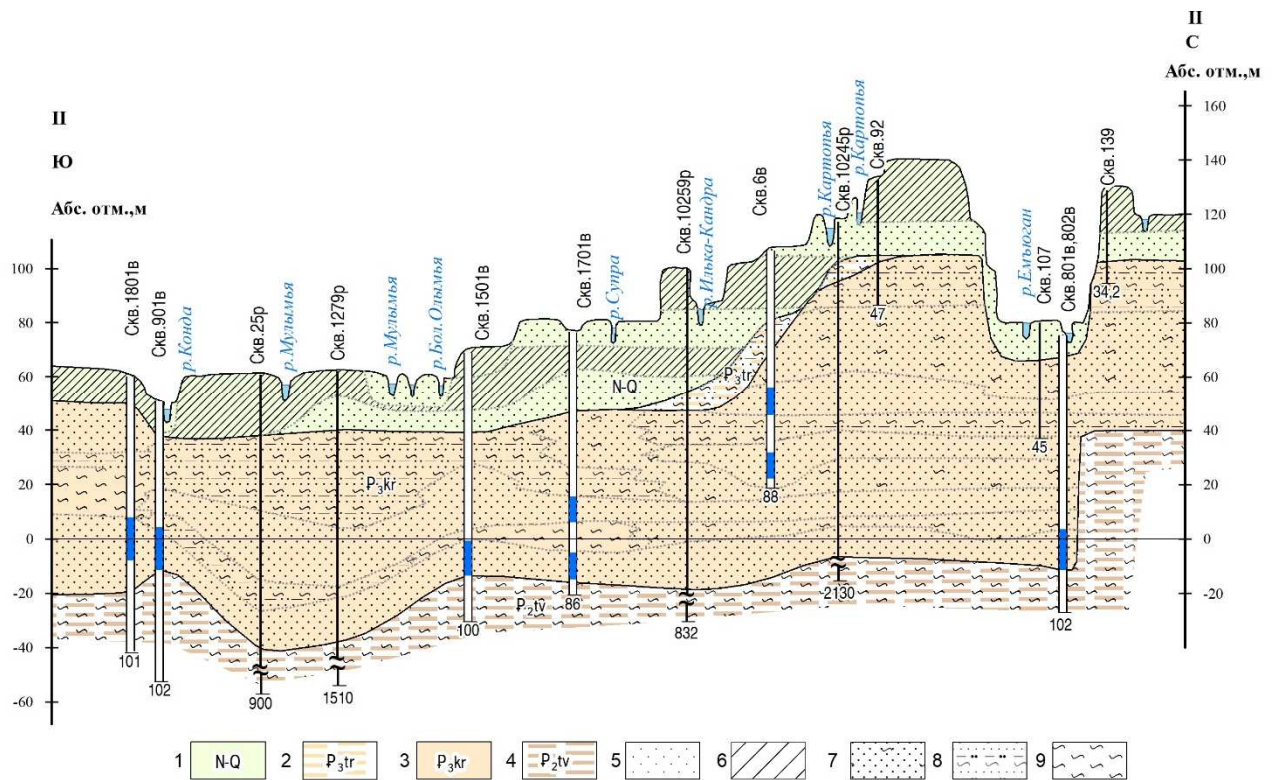
Горизонт, представленный стратиграфическими аналогами – куртамышской и атлым-новомихайловской свитами, сложен толщей переслаивающихся алевритов, глин и песков с преобладанием последних в нижней части разреза (Рисунок 1). Кровля залегает на глубинах от 10 до 126 м, общая мощность составляет 40-206 м.

По условиям водообмена горизонт находится в активной гидродинамической зоне.

Согласно палеогеографическому анализу, накопление осадков горизонта происходило в условиях континентального режима озерно-аллювиальных равнин, что обусловило высокую неоднородность литолого-минерального состава.

Сверху горизонт перекрыт отложениями водоносного неоген-четвертичного горизонта, или водоупорного, локально-слабоводоносного туртасского горизонта. Снизу горизонт подстилается региональным водоупорным тавдинским горизонтом, представленным плотными морскими глинами.

Основным источником техногенного воздействия на гидролитосферу в регионе является интенсивная добыча углеводородов, связанная со вскрытием недр, загрязнением почв в результате аварий и утечек из трубопроводов и дренажных систем, попаданием загрязняющих компонентов шлама и растворов при бурении глубоких скважин, перетоками подземных вод за колоннами скважин и т. п.



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, алевроитов; 9 – глины плотные

Рисунок 1 – Схематический гидрогеологический разрез района исследования

Интенсивный отбор подземных вод на локальных участках создает условия для изменения гидродинамических, гидрогеохимических условий водоносного горизонта, нарушения природных равновесий, что обуславливает потенциальное возникновение техногенной трансформации химического состава.

Во второй главе «**Закономерности современного гидрогеохимического режима олигоценного горизонта в западной части Среднеобского гидрогеологического бассейна**» представлены характеристика и анализ выявленных гидрогеохимических закономерностей, а также определяющих их факторов.

Химический состав подземных вод горизонта характеризуется высокой степенью неоднородности минерализации – от фоновых (0,04–0,924 г/дм³) до экстремальных (1,0–3,6 г/дм³) значений, а также пестрым ионно-солевым составом – от гидрокарбонатного до хлоридного типа по анионам и смешанного по катионам.

В среднем минерализация на 90 % формируется основными ионами (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ и HCO₃⁻), остальные 10% приходятся на общее железо,

кремний, аммоний и марганец, содержание которых в большинстве анализов превышает предельные концентрации для питьевых вод. Микрокомпоненты находятся в следовых количествах, либо ниже предельной чувствительности приборов.

При анализе гидрогеохимических данных по величине минерализации все химические анализы разделены на две группы: условно фоновых значений (<1 г/дм³), составляющую 97% выборки, и группу экстремальных значений (>1 г/дм³), приуроченных к локальным участкам.

Анализ корреляционных связей показал, что минерализация вод в первой группе (фоновых значений) обусловлена главным образом накоплением ионов натрия, калия, кальция и гидрокарбонатов, что указывает на общий источник формирования. Химический состав вод данной группы является характерным для вод инфильтрационного происхождения.

Комплексный анализ факторов, влияющих на формирование химического состава подземных вод первой группы, показал, что пространственная изменчивость химического состава подземных вод определяется, в том числе, физико-географической зональностью территории.

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.

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 олигоценового горизонта. Содержание иона аммония в подземных водах олигоценового горизонта в низменностях на 35% выше, чем на возвышенностях.

Приуроченность к западному крылу геосинеклизы определяет динамику подземных вод. В соответствии с общим погружением осадочного чехла Западно-Сибирского мегабассейна 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. Данная закономерность соответствует классической вертикальной гидрогеохимической зональности (увеличению минерализации подземных вод с глубиной), которая наблюдается и в широтном направлении.

При анализе карт пространственного распределения железа и марганца в подземных водах олигоценового горизонта отмечено закономерное снижение их содержания с северо-запада на юго-восток, что соответствует уменьшению относительного весового содержания минералов группы магнетит-ильменит в тяжелой фракции песков горизонта.

По данным геолого-съёмочных работ известно, что гидравлически взаимосвязанная толща кайнозойских отложений содержит минералы, в химическом составе которых присутствуют соединения марганца: гранат, турмалин, группы амфиболов, пироксены, ставролит. 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. 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 г.).

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. По результатам термодинамических расчетов (И.С. Иванова, 2013 г.) 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.

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.

Увеличение концентраций кремния, натрия и калия в водах олигоценового горизонта происходит в субширотном направлении (с запада на восток). Источником кремния, натрия и калия в подземных водах являются силикатные минералы, в первую очередь полевые шпаты. При их взаимодействии с водой данные элементы переходят в раствор. Этим объясняется установленная закономерность, соответствующая возрастанию доли полевых шпатов в легкой фракции водовмещающих песков.

Несмотря на то, что, по имеющимся данным, систематического превышения концентраций компонентов, являющихся индикаторами загрязнения на нефтяных месторождениях, для подземных вод олигоценового

горизонта не установлено, анализы второй группы, обладают специфическим химическим составом, принципиально отличающимся от состава вод первой группы. Это солончатые воды с величиной минерализации 1,1-3,3 г/дм³. По ионно-солевому составу воды гидрокарбонатные и хлоридные натриевые. Превышение предельно допустимых концентраций для питьевых вод отмечается по минерализации, водородному показателю, общей жесткости, содержанию хлора и натрия. Тесная прямая связь отмечается между минерализацией и содержанием ионов натрия в сумме с калием и хлоридов. Все перечисленное указывает на признаки смешения с водами, сформировавшимися в условиях глубоких горизонтов или на участках, подверженных эпизодическому загрязнению.

Техногенное влияние на химический состав подземных вод проявляется также в результате интенсивной эксплуатации водоносного горизонта, которая приводит к изменению гидродинамического режима и усилению перетока ультрапресных вод из вышележащего неоген-четвертичного горизонта в силу высоких фильтрационных свойств водовмещающих пород олигоцен-четвертичной толщи. Как подчеркивается в работах (С.Н. Тагильцев, 2019; В.С. Тагильцев, 2013), в процессе эксплуатации водозаборных скважин, практически повсеместно в Западной Сибири реализуется схема пласта с перетеканием.

По имеющимся данным, на участке с максимальной интенсивностью отбора из скважин (3,2-5,2 тыс. м³/сут на площади около 1,1 тыс. км²) прослеживается обратная зависимость между величиной водоотбора и минерализацией подземных вод олигоценового горизонта, а также тенденция к общему снижению ее среднего значения за восьмилетний цикл наблюдений. Вероятно, рост неоднородности ионно-солевого состава подземных вод горизонта на территории исследования, отмеченный в сопоставимых точках наблюдений в современный период по сравнению с 70-80-ми годами XX века, связан с интенсивным водоотбором (М.В. Вашурина, Ю.О. Русакова, А.Л. Храмцова, 2018).

Таким образом, динамика гидрогеохимических условий олигоценового горизонта за последние 30-40 лет выражена различным образом. На региональном уровне сохраняется устойчивая природная субширотная зональность, что свидетельствует о стабильности основных факторов формирования состава вод в естественных условиях. Однако на локальном уровне, на эксплуатируемых участках, наблюдается усложнение гидрогеохимических процессов. На основании этого, можно утверждать, что современные изменения связаны с интенсификацией техногенного воздействия.

На основе данных результатов 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.

Исследование влияния литологического состава водовмещающих и контактирующих с подземными водами олигоценового горизонта пород выполнялось на участке сосредоточенного водоотбора, разрез которого детально изучен с использованием гамма-каротажа.

Теоретической основой предположения о наличии такого влияния служат исследования процессов в гидрогеохимических системах, учитывающие условия седиментации и гидродинамики (В.Г. Попов, Р.Ф. Абдрахманов, 2014, 2016). В них отмечается, что ключевую роль в формировании состава подземных вод в условиях гипергенеза играют обменно-адсорбционные процессы при взаимодействии подземных вод с глинистыми породами, сформированными в различных бассейнах седиментации и оказывающие различное влияние на химический состав подземных вод.

При исследовании по данным гамма-каротажа определено соотношение мощностей песчаных и глинистых пород, залегающих выше фильтров скважин, а также расстояние до залегающего снизу глинистого водоупора тавдинской свиты.

Для возможности корреляции полученных параметров выполнен расчет эквивалент-процентных содержаний основных ионов, а также расчет индекса неравновесности относительно кальцита (i) по методу Дебая-Гюккеля (Р.М. Гарелс, И.Л. Крайст, 1968). Проверка гипотезы о возможности протекания процессов ионного обмена выполнена путем расчета индекса Schoeller (CAI) и построения уравнений регрессии по соотношению основных ионов.

По результатам исследования определено, что подземные воды не насыщены относительно кальцита (значения индекса насыщенности карбонатами (i) положительны), что определяет их высокую растворяющую способность. Отрицательные значения индекса Schoeller (CAI) и коэффициенты уравнений регрессии соотношения основных ионов свидетельствуют, что в

формировании химического состава подземных вод олигоценового горизонта существенную роль играют процессы ионного обмена.

Установлено, что величина относительного содержания натрия, калия и хлора в водах обратно коррелирует со средним расстоянием от интервала опробования водоносного горизонта до подстилающих глин тавдинской свиты. Наличие данной зависимости объясняется процессами ионного обмена, в ходе которых кальций, магний и гидрокарбонаты подземных вод олигоценового горизонта, сформировавшегося в континентальных условиях, замещаются на натрий, калий и хлор ионного комплекса «морских» тавдинских глин.

Влияние литологического состава перекрывающих интервал эксплуатации отложений на химический состав подземных вод олигоценового горизонта проявляется разнонаправленно. С увеличением мощности глин минерализация вод снижается, в то же время рост мощности песчаных пород приводит к увеличению общей минерализации и относительного содержания ионов натрия и калия. Обратная связь с минерализацией объясняется высокой адсорбционной способностью глинистых пород, выступающих в роли естественных природных фильтров. Прямая зависимость минерализации от мощности песков обусловлена их высокой проницаемостью, обеспечивающей интенсивную фильтрацию и активное выщелачивание элементов из пород. Обогащение вод натрием и калием очевидно связано с гидролизом полевых шпатов и ионным обменом с глинистыми включениями. Кроме того, необходимо учитывать техногенный фактор: высокая фильтрационная способность песчаных отложений способствует потенциально быстрому распространению загрязнения, в том числе высокоминерализованных хлоридных натриевых вод техногенного происхождения.

На основании приведенных 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.

В третьей главе «**Методика прогнозной оценки фильтрационных свойств водовмещающих пород**» представлено обоснование методики применения гамма-каротажа для прогнозной оценки фильтрационных свойств пород олигоценового горизонта.

В практике геологических работ для детального литологического расчленения разреза, выделения коллекторов с определением их мощности, оценки фильтрационно-емкостных свойств пород, обычно применяется комплекс геофизических методов исследования скважин. Однако, на территории исследования основной объем данных геофизического каротажа приходится на скважины нефтяного разведочного бурения. В интервале олигоценового горизонта они включают исключительно гамма-картаж.

Исходя из этого, даже при отсутствии полного комплекса ГИС, применение гамма-каротажа для оценки фильтрационно-емкостных свойств вполне оправдано, так как связано с тем, что в основе метода лежит отличие значений измерений различных по литологическому составу пород, а особенно песков и глин, что является особенно эффективным для пород кайнозойских отложений на территории исследования.

Известно, что глинистость пород влияет на их фильтрационные свойства, которые, в свою очередь, определяют каптажные характеристики водозаборных скважин. Основными гидрогеологическими параметрами, используемыми для прогнозных расчётов водозаборов и оценки запасов подземных вод, являются гранулометрический состав, водопроницаемость, коэффициент фильтрации водовмещающих пород и удельный дебит скважин. Поэтому объективная оценка значений этих параметров особенно актуальна в условиях отсутствия прямых гидродинамических испытаний скважин.

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, содержащихся в фондовых геологических отчетах.

Для получения численной характеристики литологических разностей пород использовалась величина двойного разностного параметра естественной радиоактивности (ΔJ_γ , отн.ед.) (1).

$$\Delta J_\gamma = \frac{J_x - J_{\min}}{J_{\max} - J_{\min}} \quad (1)$$

где J_x - показания ГК по кривой в целевом интервале;

J_{\min} - минимальные показания ГК;

J_{max} - максимальные показания ГК (Рисунок 2).

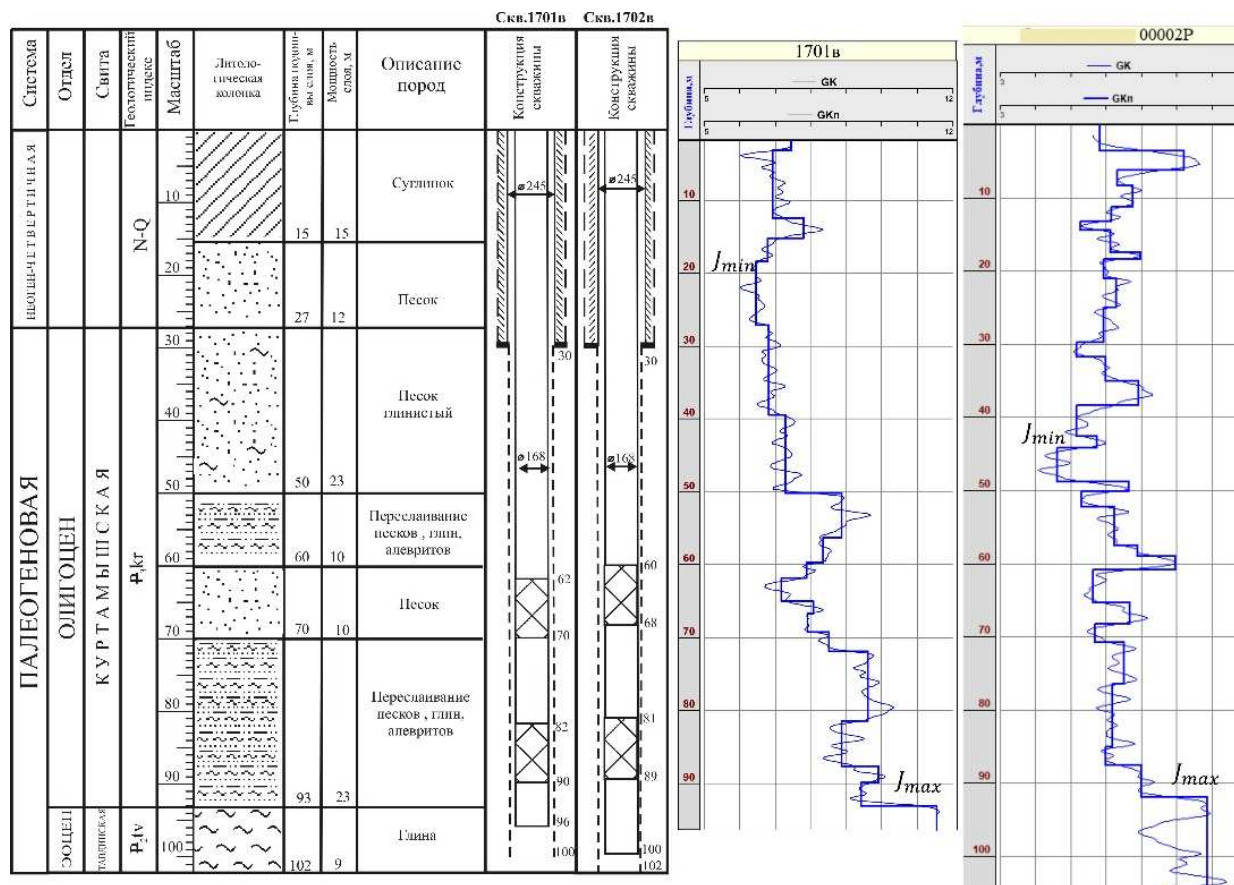


Рисунок 2 – Интерпретация кривых ГК водозаборной скважины 17001в и нефтяной разведочной скважины 00002Р в Шаимском нефтегазоносном районе (Русаква Ю.О., Плавник А.Г., Ковяткина Л.А., 2022 г.)

В качестве количественной характеристики гранулометрического состава использовался медианный диаметр частиц (d_{50}). Для его определения по каждому образцу строилась интегральная кривая, представляющая собой полулогарифмический график, по оси абсцисс которого откладывается логарифм диаметра частиц, по оси ординат – процентное содержание частиц по совокупности фракций, начиная с самой мелкой.

Обработка результатов лабораторного определения коэффициента фильтрации (k_f) заключалась в анализе согласованности их значений с характерными показателями используемой классификации терригенных пород без жестких связей (П.А. Новосельцев, 1986) и отбраковке нехарактерных значений.

Согласно используемой классификации в группах данных определялись средние значения параметров d_{50} , k_f и $\Delta J \gamma$.

По результатам сопоставления данных лабораторного определения водно-физических свойств пород и интерпретации гамма-каротажа водозаборных скважин установлены значимые статистические связи между

средними значениями $\Delta J \gamma$, $d50$ и $k\phi$. 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 для подавляющего числа классов составляет 10-14%, исключение составляет прогноз $d50$ для глин, а также коэффициента фильтрации для глинистых мелкозернистых песков и оценивается как допустимая.

Полученные уравнения регрессии использованы для прогноза $d50$ и $k\phi$ (Таблица 1).

Таблица 1 – Прогнозные значения $d50$ и $k\phi$ при известных значениях $\Delta J \gamma$

Наименование пород	$\Delta J \gamma$, отн. ед	$d50$, мм	$k\phi$, 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 корреляции данных гидродинамических испытаний водозаборных скважин и гамма-каротажа получены тесные статистические связи величины двойного разностного параметра естественной радиоактивности ($\Delta J \gamma$) с водопроницаемостью пород (km) и удельным дебитом скважин (q) с учетом длины их фильтра ($l\phi$) (Рисунок 3).

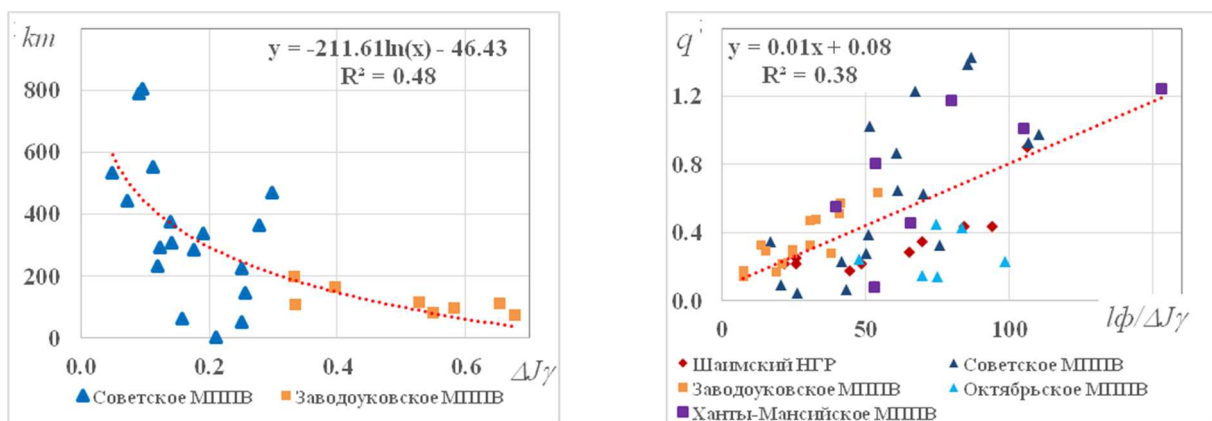


Рисунок 3 – График зависимости: а) km и $\Delta J \gamma$, q и $l\phi/\Delta J \gamma$

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 пород намеченных коллекторов по гранулометрическому составу на основе значений медианного диаметра частиц (d_{50}), прогноз значений коэффициента фильтрации (k_f) (Таблица 1).

4. На основании приведенных уравнений регрессии (Рисунок 3) прогноз значений водопроводимости (km) пород и удельного дебита скважин (q) с учетом проектной длины фильтра скважины (l_f).

Апробация обоснованной методики прогнозной оценки фильтрационных свойств пород на основе величины двойного разностного параметра естественной радиоактивности проведена на примере карты глубин залегания перспективных для эксплуатации интервалов в северной части Шаимского нефтегазоносного района.

Результаты, приведенные в третьей главе, послужили основой для формулирования **третьего защищаемого положения:**

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 позволило 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, а также изучение процессов взаимодействия воды с породами с применением современных методов термодинамических расчетов равновесия подземных вод с карбонатами, алюмосиликатами и другими минералами.

Основные публикации по теме диссертации

Публикации в журналах, индексируемых в международных системах цитирования (Web of science, Scopus и др.):

1. 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.

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК РФ:

2. 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

3. Русакова, Ю.О. Анализ основных факторов, определяющих значение удельного дебита водозаборной скважины. Ю.О. Русакова, А.Г. Плавник, М.В. Вашурина, А.Л. Храмова. / Известия Уральского государственного горного университета. – 2023. – № 1(69). – С. 78-87. – DOI 10.21440/2307-2091-2023-1-78-87

4. Русакова, Ю.О. Применение метода естественной радиоактивности для прогноза литологического состава и фильтрационных свойств пород олигоценового водоносного горизонта. / Ю.О. Русакова А.Г. Плавник, М.В. Вашурина, Л.А. Ковяткина / Известия Уральского государственного горного университета. – 2023. – № 3(71). – С. 100-111. – DOI 10.21440/2307-2091-2023-3-100-111

5. Русакова, Ю.О. Основные закономерности пространственно-временного состояния химического состава подземных вод олигоценового водоносного горизонта в Шаимском нефтегазоносном районе / А.Г., Плавник, М.В. Вашурина Л.А. Ковяткина, А.Л. Храмова, 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

6. 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

7. 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

Статьи, опубликованные в других изданиях:

8. 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.

9. 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.

10. 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.