

**ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**



На правах рукописи

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized, cursive letter 'K' followed by a horizontal line that extends to the right and then curves back up.

Кузеванов Константин Константинович

**ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД  
ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ  
ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

1.6.6 – Гидрогеология

Томск – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

**Научный руководитель:**

**Дутова Екатерина Матвеевна**

доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, ФГАОУ «Национальный  
исследовательский Томский политехнический  
университет»

**Официальные оппоненты:**

**Плюснин Алексей Максимович**

доктор геолого-минералогических наук, ФГБУН  
Геологический институт им. Н.Л. Добрецова  
Сибирского отделения Российской академии наук,  
г. Улан-Удэ, заведующий лабораторией  
гидрогеологии и геоэкологии

**Алексеева Людмила Павловна**

доктор геолого-минералогических наук, ФГБУН  
Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск,  
ведущий научный сотрудник

Защита состоится 29 декабря 2022 г. в часов на заседании диссертационного совета ДС.ТПУ.25 Национального исследовательского Томского политехнического университета по адресу: г. Томск, пр. Ленина 2, строение 5, корпус 20, аудитория .

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Томского политехнического университета и на сайте [dis.tpu.ru](http://dis.tpu.ru).

Автореферат разослан

Учёный секретарь диссертационного совета,  
доктор геолого-минералогических наук



Лепокурова Олеся  
Евгеньевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Обеспечение населения качественной питьевой водой является одной из важнейших задач современности. Именно качество питьевой воды в значительной степени определяет экологическую безопасность жизни и здоровья населения. Томская область в этом отношении находится в весьма благоприятных природных условиях, имеется неограниченное количество водных ресурсов, оцененных запасов подземных вод. Водоснабжение населения Томской области организовано на достаточно хорошем уровне, практически полностью обеспечено подземными водами. Вместе с тем, они в естественном состоянии зачастую уже являются некондиционными по ряду нормируемых компонентов. В этой связи, изучение геохимических особенностей подземных вод хозяйственно-питьевого назначения в естественных и нарушенных условиях, имеет особую актуальность.

На настоящее время геохимия пресных подземных вод, использующихся зачастую как источник водоснабжения, достаточно внимательно изучена. Благодаря работам известных ученых В.П. Зверева, Г.Н. Каменского, В.А. Кирюхина, А.И. Короткова, С.Р. Крайнова, А.М. Овчинникова, А.И. Перельмана, Е.В. Пиннекера, Б.И. Писарского, Б.Б. Польшова, Е.В. Посохова, Б.Н. Рыженко, Ф.П. Саваренского, Н.И. Толстихина, С.Л. Шварцева, В.М. Швеца и многих их последователей были разработаны теоретические положения о факторах и механизмах формирования химического состава подземных вод, проведены обобщения по химическому составу подземных вод зоны гипергенеза, систематизированы данные и получены средние (кларковые) содержания широкого ряда химических элементов в подземных водах основных ландшафтных зон земного шара, сформированы представления о широтной и вертикальной глубинной гидрогеохимических зональностях, выделены провинции нормируемых химических элементов, развиты фундаментальные представления о системе “вода–порода” и ее способности к самоэволюции и самоорганизации.

В границах объекта исследований гидрогеологические, гидрогеохимические условия верхней части осадочного чехла Западно-Сибирской плиты и Томского выступа отражены в работах А.А. Балобаненко, М.Б. Букаты, В.Я. Бычкова, Л.С. Бычковой Н.Н. Винниченко, Е.М. Дутовой, Н.А. Ермашовой, В.А. Зуева, В.Г. Иванова, А.Э. Конторовича, А.Р. Курчикова, Б.Ф. Маврицкого, Ю.В. Макушина, В.М. Матусевича, А.Д. Назарова, В.А. Нуднера, Г.Л. Плевако, Д.С. Покровского, В.К. Попова, Н.М. Рассказова, А.А. Розина, Ю.К. Смоленцева, П.А. Удодова, С.Л. Шварцева и других.

Имеющаяся в настоящее время цифровая платформа для картирования гидрогеологических и гидрогеохимических условий, гидродинамического моделирования и анализа гидрогеохимических процессов позволяют на новом уровне подойти к решению многих вопросов

**Объектом исследования** являются подземные воды верхней части геологического разреза, наиболее активно используемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Томской области в естественных и нарушенных в процессе эксплуатации условиях.

**Цель работы** заключается в выявлении геохимических особенностей и качества подземных вод хозяйственно-питьевого назначения Томской области в естественных региональных условиях и эксплуатируемых крупными водозаборами, с использованием современной цифровой платформы средств ГИС-технологий, гидродинамического и, морфоструктурно-гидрогеологического анализа.

### **Основные задачи:**

1. Дать характеристику природных ландшафтно-климатических, геологических, гидрогеологических условий территории и особенностей организации водоснабжения населения Томской области.
2. Привести характеристику гидрогеологических условий районов, выбранных типовых эксплуатируемых месторождений подземных вод.
3. Обосновать методику обобщения данных гидрогеохимических региональных и детальных исследований на выбранных типовых эксплуатируемых месторождениях подземных вод.
4. Уточнить известные ранее региональные закономерности изменчивости химического состава подземных вод, использующихся для водоснабжения населения района исследований.
5. Оценить особенности изменения состава и качества подземных вод ряда эксплуатируемых месторождений подземных вод.

**Материалы и методы исследований.** В основу работы положены фактические материалы, собранные в ходе исследований, проводимых сотрудниками отделения геологии (в прошлом кафедры ГИГЭ Томского политехнического университета) с 2005 г. по настоящее время, где автор принимал непосредственное участие), фактические данные и фондовые материалы геологических и гидрогеологических отчетов ООО «Томскгеомониторинг».

Исследования состава подземных вод выполнены с применением современных сертифицированных аналитических методов в проблемной научно-исследовательской лаборатории ТПУ, лабораториях ООО «Томскгеомониторинг» и других геологических организаций региона.

Всего для региональных исследований было использовано 1107 анализа воды, а для выявления геохимических изменений на выбранных типовых эксплуатируемых месторождениях подземных вод 500 анализов.

Хранение, обобщения и обработка аналитических и картографических данных осуществлялись с помощью методов математической статистики и ГИС-технологий, реализованных в пакетах программ Excel, Statistica, Surfer, ArcGIS 10.3. Промежуточные расчеты производились встроенными возможностями регрессионного анализа Microsoft Excel. Гидродинамические расчеты проводились с использованием GMS, FeFlow.

#### **Личный вклад автора.**

Автором осуществлен сбор, анализ и обработка фактического материала по объекту исследований (в естественных региональных условиях и в условиях эксплуатации крупными водозаборами). Выполнены картографические построения с использованием ГИС-технологий, интерпретированы результаты работы и сформулированы выводы. В работе использованы личные наблюдения автора при проведении полевых работ. Все разделы диссертации подготовлены автором лично. Подготовлена значительная часть публикаций. **Основные положения** и выводы диссертационной работы опубликованы в рецензируемых изданиях.

#### **Защищаемые положения.**

1. В естественных условиях химический состав подземных вод палеогеновых отложений формируется под влиянием ландшафтно-климатических условий, состава водовмещающих пород и перекрывающих толщ. На большей части территории формируются пресные подземные воды, наименее минерализованные - в условиях среднетаежных ландшафтов в отложениях континентального генезиса, перекрытых преимущественно песчаными и супесчаными осадками, а наиболее минерализованные - в условиях южно-таежных ландшафтов, в отложениях прибрежно-морского и морского генезиса, перекрытых преимущественно глинистыми и суглинистыми осадками. Локально установлено наличие благоприятных условий для разгрузки подземных вод меловых отложений, имеющих повышенную минерализацию. По результатам морфоструктурно-гидрогеологического анализа суммарная территория таких участков достигает 5%, а закартированная площадь подобных аazonальных аномалий не превышает 1%.
2. Эксплуатация подземных вод палеогеновых отложений приводит к изменению параметров среды и миграционной способности переменного-валентных химических элементов с привлечением некондиционных вод из смежных горизонтов, что при интенсификации водоотбора влияет на качество добываемых вод. В условиях среднетаежных ландшафтов в эксплуатируемых водах увеличиваются, а в условиях южно-таежных ландшафтов уменьшаются содержания железа, появляются индикаторы загрязнения – хлориды, атипичный микробиологический состав, активизируются перетоки вод из меловых отложений, фиксирующиеся повышенными аномалиями хлора и минерализации. Степень проявления изменений состава определяется интенсивностью вертикальных перетоков, количественная оценка которых может быть установлена с применением гидродинамических расчетов и численного моделирования.
3. Эксплуатация месторождений подземных вод, приуроченных к фундаменту артезианского бассейна на его юго-восточной окраине, при интенсификации водоотбора активизирует окисление сульфидов в зоне аэрации и в толще пиритизированных водовмещающих пород. Подкисление вод и более высокие концентрации сульфат-иона усиливают миграционную

способность элементов и повышают растворимость карбонатных минералов. Это приводит к росту общей жесткости, иногда выше предельно допустимых значений.

#### ***Научная новизна.***

1. Получены определенные в зависимости от основных ведущих факторов количественные оценки пространственного распределения отдельных компонентов химического состава подземных вод палеогеновых отложений.
2. Создан комплект цифровых гидрогеохимических карт масштаба 1:500 000 для меловых и палеогеновых отложений в пределах территории Томской области: карты содержания гидрокарбонат-иона, карты общей минерализации подземных вод, карты изменчивости рН подземных вод, карты химических типов подземных вод.
3. На основе применения морфоструктурно-гидрогеологического анализа локализованы участки, где разгрузка подземных вод меловых отложений, залегающих ниже по разрезу, наиболее вероятна и определена их суммарная площадь.
4. Показано, что появление повышенных содержаний элементов в водах (иногда, превышающих нормативные значения) обусловлено как природными факторами, так и особенностями изменения состава и качества подземных вод в процессе их эксплуатации.
5. Установлено, что длительная эксплуатация подземных вод палеогеновых отложений приводит к изменению параметров среды и миграционной способности переменновалентных химических элементов с привлечением некондиционных вод из смежных горизонтов, что влияет на содержание ионов железа и появление индикаторов поверхностного загрязнения.
6. Доказано, что интенсивная эксплуатация месторождений подземных вод, приуроченных к породам фундамента, приводит к подкислению вод, повышению растворимости карбонатных минералов и способствует росту общей жесткости.

#### ***Практическая значимость:***

1. Полученный автором значительный объем современных представлений о региональной и временной изменчивости химического состава подземных вод по расширенному количеству показателей в дальнейшем может быть использован для обеспечения различных прикладных исследований.
2. На основе анализа опыта длительной эксплуатации подземных вод палеогеновых отложений показано, что частовстречающееся в практике подсчета запасов упрощение расчётной схемы до типовых условий изолированного неограниченного напорного пласта, не оправдано с позиций снижения достоверности длительного прогноза работы водозабора в отношении стабильности качества добываемой воды, требуется дополнять прогноз учетом дополнительного питания.
3. На примерах водозаборов, находящихся в работе длительное время показано, что надежность прогноза качества подземных вод при их эксплуатации может повысить применение численного моделирования гидрогеологических условий. При этом для крупных водозаборов рекомендуется использовать постоянно действующие модели, а на одиночных водозаборах применять численное моделирование на этапе обработки опытно-фильтрационных работ с целью уточнения характера граничных условий и обоснования расчётной схемы для подсчета запасов подземных вод.
4. Установлено, что в условиях опасности появления процессов перетекания недопустимо сокращение времени проведения опытно-фильтрационных работ для более строгой квалификации граничных условий. Ограничение продолжительности опыта только периодом наступления квазистационарного режима водопритока способствует утрате важнейшей гидрогеологической информации о характере граничных условий.
5. Доказана эффективность применения морфоструктурно-гидрогеологического анализа не только для выявления участков потенциальной разгрузки подземных вод отложений мелового возраста, но и для количественной оценки глубины залегания границы между гидродинамическими зонами активного и замедленного водообмена.

Полученные автором результаты могут быть полезны специалистам, чьи интересы связаны с проблемами экологической безопасности и решением хозяйственно-питьевых проблем, направленных на разработку перспективных планов водоснабжения населения.

**Достоверность полученных результатов** обусловлена большим объемом фактического материала, использованием современных аналитических методов, применением в процессе обработки данных статистических методов анализа, гидродинамических и термодинамических расчетов, а также анализом широкого круга научных публикаций, фондовых материалов по теме диссертации. Теоретические построения основаны на современных представлениях о причинно-следственных связях ведущих природных факторов и закономерностях формирования химического состава вод, современных научных представлениях об эволюции системы "вода-порода".

**Апробация результатов исследования и публикации.** Основные результаты исследований по теме диссертации докладывались и обсуждались на конференциях, совещаниях и симпозиумах различного уровня. По результатам работы опубликованы 9 научных работ, из них 5 в изданиях, рекомендованных ВАК, и в журналах, входящих в БД Scopus и Web of Science.

**Апробация работы.** Результаты исследований были использованы при выполнении работ в рамках х/д 2-159/05 «Составление комплекта специализированных гидрогеохимических прогнозных на уран карт по трем палеофациальным уровням (юрскому, меловому и палеоген – неогеновому) окраины Западно – Сибирской плиты в Томской, Омской областях 1: 1 500 000 масштаба на прогнозируемых перспективных площадях».

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы, включающего 122 наименования. Объем текста – 185 с., количество таблиц – 19, рисунков – 88.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю – профессору отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов д.г.-м.н. Е.М. Дутовой, а также д.г.-м.н. Д.С. Покровскому, к.г.-м.н. К.И. Кузеванову, к.г.-м.н. Н.Г. Наливайко и сотрудникам отделения геологии ТПУ за постоянную поддержку и всестороннюю помощь в выполнении исследований.

Автор благодарит сотрудников ФГБУ «Гидроспецгеология» и ООО «Томскгеомониторинг»: к.г.-м.н., директора филиала «Сибирский региональный центр ГМСН» В.А. Льготина, к.г.-м.н., начальника отдела Государственного мониторинга за участками загрязнения подземных вод филиала «Сибирский региональный центр ГМСН» А.А. Балобаненко, начальника отдела Д.Н. Четвергова, ведущего гидрогеолога Г.А. Жульмину, ведущего специалиста Н.Ю. Рукс, ведущего гидрогеолога В.П. Шинкаренко за помощь и консультации по вопросам, возникавшим в ходе выполнения работы.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **«Введении»** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна полученных результатов, защищаемые положения, практическая значимость работы.

В первой главе **«Состояние изученности проблемы исследований»** освещаются современные представления о геохимии подземных вод хозяйственно-питьевого назначения, дается характеристика геологической и гидрогеологической, гидрогеохимической изученности территории района исследований.

Во второй главе **«Природные условия, геологическое и гидрогеологическое строение района исследований»** приведены краткие сведения о физико-географических, геологических, гидрогеологических условиях, характеристике основных водоносных горизонтов.

В третьей главе **«Водоснабжение томской области»** приводятся сведения о ресурсах и использованию подземных вод об источниках водоснабжения, объемах добываемых подземных вод, обеспеченности водой городского и сельского населения.

Приводится краткая характеристика месторождений подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. Особое внимание уделяется характеристике типовых эксплуатируемых месторождений подземных вод.

В четвертой главе **«Методика исследований»** приводится характеристика фактического материала, методика статистической обработки данных, гидродинамических, физико-химических расчетов и моделирования. Особое внимание уделяется методике картографических построений средствами ГИС-технологий.

В пятой главе «**Геохимические особенности подземных вод хозяйственно-питьевого назначения**» анализируются региональные гидрогеохимические условия верхней части геологического разреза в естественных условиях, пространственные широтные, глубинные изменения величины минерализации, ионно-солевого состава, нормируемых и средоопределяющих показателей подземных вод палеогеновых и смежных с ним горизонтов. Подчеркивается, что эволюция состава подземных вод в процессе эксплуатации происходит на фоне ландшафтных, литолого-фациальных и гидрогеологических факторов, под воздействием активизации вызванных водоотбором взаимодействий продуктивного и смежных горизонтов, приводящим к формированию депрессионных воронок, сопровождающихся трансформацией термодинамического состояния в системе «вода – порода», выражающимся в изменении химического состава и качества вод. Приводятся особенности эксплуатации месторождений подземных вод в условиях складчатого обрамления Алтае-Саянской складчатой области (АСО), водовмещающие породы которых пиритизированы.

В «**Заключении**» приведены основные выводы исследований и предлагаемые рекомендации по эксплуатации подземных вод, используемых для водоснабжения.

### ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

*Первое защищаемое положение.* В естественных условиях химический состав подземных вод палеогеновых отложений формируется под влиянием ландшафтно-климатических условий, состава водовмещающих пород и перекрывающих толщ. На большей части территории формируются пресные подземные воды, наименее минерализованные - в условиях среднетаежных ландшафтов в отложениях континентального генезиса, перекрытых преимущественно песчаными и супесчаными осадками, а наиболее минерализованные - в условиях южно-таежных ландшафтов, в отложениях прибрежно-морского и морского генезиса, перекрытых преимущественно глинистыми и суглинистыми осадками. Локально установлено наличие благоприятных условий для разгрузки подземных вод меловых отложений, имеющих повышенную минерализацию. По результатам морфоструктурно-гидрогеологического анализа суммарная территория таких участков достигает 5%, а закартированная площадь подобных аazonальных аномалий не превышает 1%.

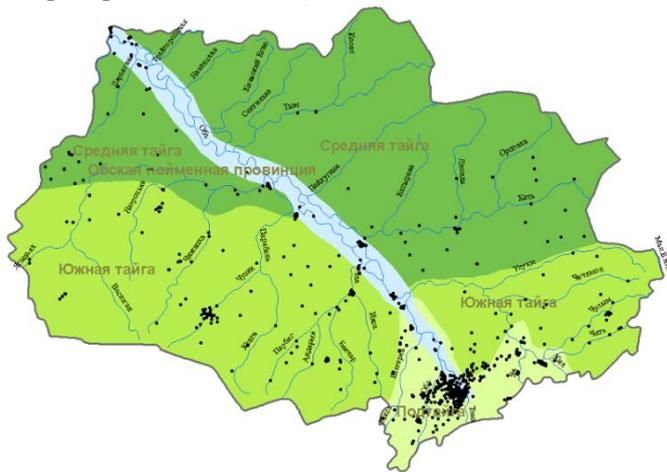


Рисунок 1 – Ландшафты Томской области

Территория Томской области представляет собой плоскую, наклоненную на север слабосчлененную равнину. Большая часть ее находится в зоне тайги, которая характеризуется широтной зональностью и при продвижении к югу подразделяется на три плавно сменяющие друг друга подзоны: средней тайги, южной тайги и подтайги (рисунок 1). В целом, таежная зона характерна избыточным увлажнением, что выражено повышенными величинами модулей подземного и поверхностного стока.

В геологическом отношении значительная часть территории Томской области располагается в границах Западно-

Сибирской плиты, а южные ее окраины входят в пределы Колывань-Томской складчатой зоны (рисунок 2). В разрезе мезозойско-кайнозойских отложений Западно-Сибирского артезианского бассейна выделяются два водоносных этажа с резко различными условиями формирования подземных вод. Этажи разделены мощным региональным водоупором верхнемелового-палеогенового возраста, который выклинивается в краевой зоне бассейна.

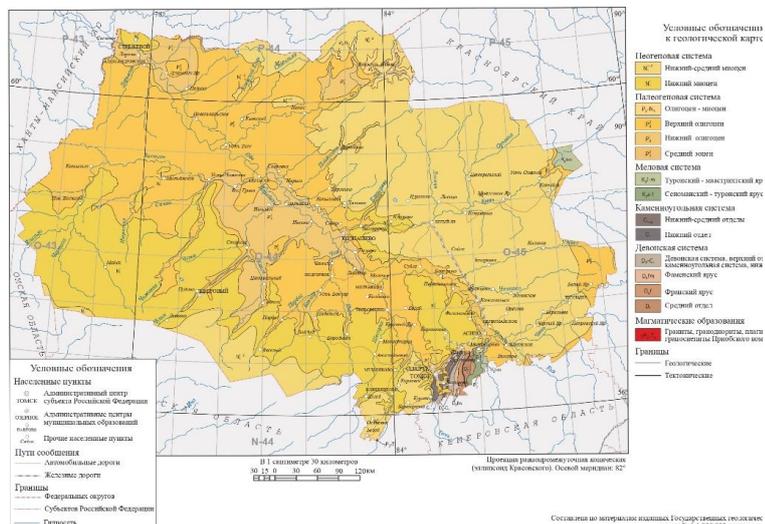


Рисунок 2 – Геологическая карта

этажа, направлен от области питания в краевой части бассейна к его центру, и находится, как правило, вне сферы дренирующего влияния речной сети и воздействия современных физико-географических факторов. На отдельных участках разгрузка подземных вод происходит в долины крупных рек, контролирующих зоны разломов.

Основой крупного и малого водоснабжения является водоносный комплекс палеогеновых отложений, развитый по всей территории Западно-Сибирской плиты. На него приходится наибольшее число разведанных месторождений, на которых базируется водоснабжение как крупных городов (Томска, Северска, Колпашево, Стрежевого), так и многих более мелких населенных пунктов. В условиях инфильтрационного питания водоносного комплекса важную роль играет степень увлажнения, дренированность и заболоченность площади области питания, мощность зоны аэрации, литологический состав водовмещающих и вышележащих отложений водоносных горизонтов и т. д. (табл. 1).

Величина общей минерализации уменьшается с юго-востока на северо-запад от наиболее минерализованных вод зон подтаежных и южнотаежных ландшафтов к наименее минерализованным водам ландшафтов средней тайги (рисунок 3). Наиболее минерализованные воды (около 560 мг/л) имеют распространение на территории южной тайги. Северная ландшафтная зона Томской области, зона средней тайги, характеризуется средними значениями минерализации подземных вод 376 мг/л (рисунок 4).

В ряду ландшафтных зон области особое положение занимает обская пойменная провинция, которая, будучи приуроченной к р. Обь, имеет субмеридиональное простираение. Поскольку водоносный комплекс палеогеновых отложений имеет повсеместное распространение на территории Томской области, среднее значение общей минерализации вод территории пойменной провинции соответствует среднему значению 470 мг/л., характерному для водоносного комплекса в целом.

Анализ средних значений минерализации с учетом расположения пунктов опробования подземных вод относительно р. Обь указывает на влияние дополнительных факторов формирования химического состава подземных вод, помимо ландшафтной (широтной) зональности. Отмечается довольно значительная разница между средними значениями как общей минерализации, так и содержанием отдельных компонентов вещественного состава правого и левого берега р. Обь, что обусловлено различным литологическим составом водовмещающих отложений, условной границей которых выступает р. Обь. Водовмещающая толща водоносного комплекса правобережья сложена отложениями преимущественно континентального генезиса и имеют лучшие фильтрационные свойства, что является причиной более интенсивного водообмена. Левобережная часть толщи выполнена отложениями морского, прибрежно-морского генезиса с худшими фильтрационными и характеристиками и, как следствие, сравнительно менее активным водообменом.

## Средние значения компонентов химического состава подземных вод палеогеновых отложений.

Литологический состав водовмещающих пород	Ландшафт	Литологический состав перекрывающих отложений	Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	M <sub>общ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	pH, ед	Ж <sub>общ</sub> , мг-экв	Окисляемость O <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Fe <sub>общ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>
Отложения прибрежно-морского, морского генезиса (относительно плохо проницаемые)	Ландшафт среднетаежный		<b>84,0</b>	<b>33,9</b>	<b>1,9</b>	<b>19,2</b>	<b>426,4</b>	<b>12,5</b>	<b>7,7</b>	<b>585,6</b>	<b>7,4</b>	<b>6,0</b>	<b>11,8</b>	<b>5,1</b>
		Глинистый и суглинистый	90,2	35,8	2,5	21,4	452,2	14,6	8,3	624,9	7,5	6,5	14,5	3,7
		Песчаный и супесчаный	75,8	31,4	1,6	16,0	396,1	9,3	7,2	537,5	7,3	5,4	5,2	6,8
	Ландшафт южнотаежный		<b>90,1</b>	<b>43,7</b>	<b>3,7</b>	<b>25,7</b>	<b>432,3</b>	<b>48,6</b>	<b>8,3</b>	<b>652,3</b>	<b>7,3</b>	<b>6,3</b>	<b>5,1</b>	<b>3,9</b>
		Глинистый и суглинистый	94,7	43,1	4,0	26,5	460,2	40,9	7,8	677,2	7,3	6,4	5,2	4,0
		Песчаный и супесчаный	83,1	42,8	2,7	24,5	379,4	65,1	10,7	608,3	7,2	6,1	4,9	3,8
Средние значения			<b>90,8</b>	<b>39,4</b>	<b>3,2</b>	<b>23,1</b>	<b>426,7</b>	<b>34,3</b>	<b>7,8</b>	<b>625,4</b>	<b>7,4</b>	<b>6,2</b>	<b>7,2</b>	<b>4,2</b>
Отложения континентального генезиса (относительно хорошо проницаемые)	Ландшафт среднетаежный		<b>27,1</b>	<b>16,8</b>	<b>1,5</b>	<b>13,4</b>	<b>186,6</b>	<b>5,4</b>	<b>2,5</b>	<b>253,3</b>	<b>7,3</b>	<b>2,7</b>	<b>7,5</b>	<b>5,2</b>
		Песчаный и супесчаный	22,6	17,2	1,4	12,5	167,5	5,6	2,5	229,3	7,3	2,5	7,4	4,7
	Ландшафт южнотаежный		<b>67,8</b>	<b>18,3</b>	<b>4,8</b>	<b>15,8</b>	<b>322,0</b>	<b>12,6</b>	<b>9,9</b>	<b>451,2</b>	<b>7,3</b>	<b>4,7</b>	<b>3,9</b>	<b>5,9</b>
		Глинистый и суглинистый	63,2	14,9	9,2	13,2	298,1	6,1	11,5	416,3	7,3	4,4	2,8	5,4
		Песчаный и супесчаный	71,4	20,5	1,5	17,5	339,7	17,4	9,1	477,2	7,3	4,9	4,7	6,3
			<b>73,9</b>	<b>27,0</b>	<b>1,7</b>	<b>17,8</b>	<b>345,7</b>	<b>20,5</b>	<b>10,7</b>	<b>497,4</b>	<b>7,3</b>	<b>5,3</b>	<b>2,7</b>	<b>4,4</b>
	Ландшафт подтаежный	Глинистый и суглинистый	81,3	37,4	2,0	21,4	420,3	14,3	8,7	585,4	7,4	5,8	2,5	3,7
		Песчаный и супесчаный	71,1	20,0	1,6	16,6	316,0	22,6	11,2	459,0	7,2	5,0	2,7	4,7
Среднее			<b>70,9</b>	<b>24,1</b>	<b>2,4</b>	<b>17,3</b>	<b>334,5</b>	<b>18,0</b>	<b>10,5</b>	<b>477,6</b>	<b>7,3</b>	<b>5,0</b>	<b>3,1</b>	<b>4,8</b>
<i>Средние значения по водоносному комплексу</i>			<i>77,0</i>	<i>29,9</i>	<i>3,0</i>	<i>19,1</i>	<i>363,6</i>	<i>23,8</i>	<i>9,9</i>	<i>526,2</i>	<i>7,3</i>	<i>5,4</i>	<i>4,5</i>	<i>4,6</i>

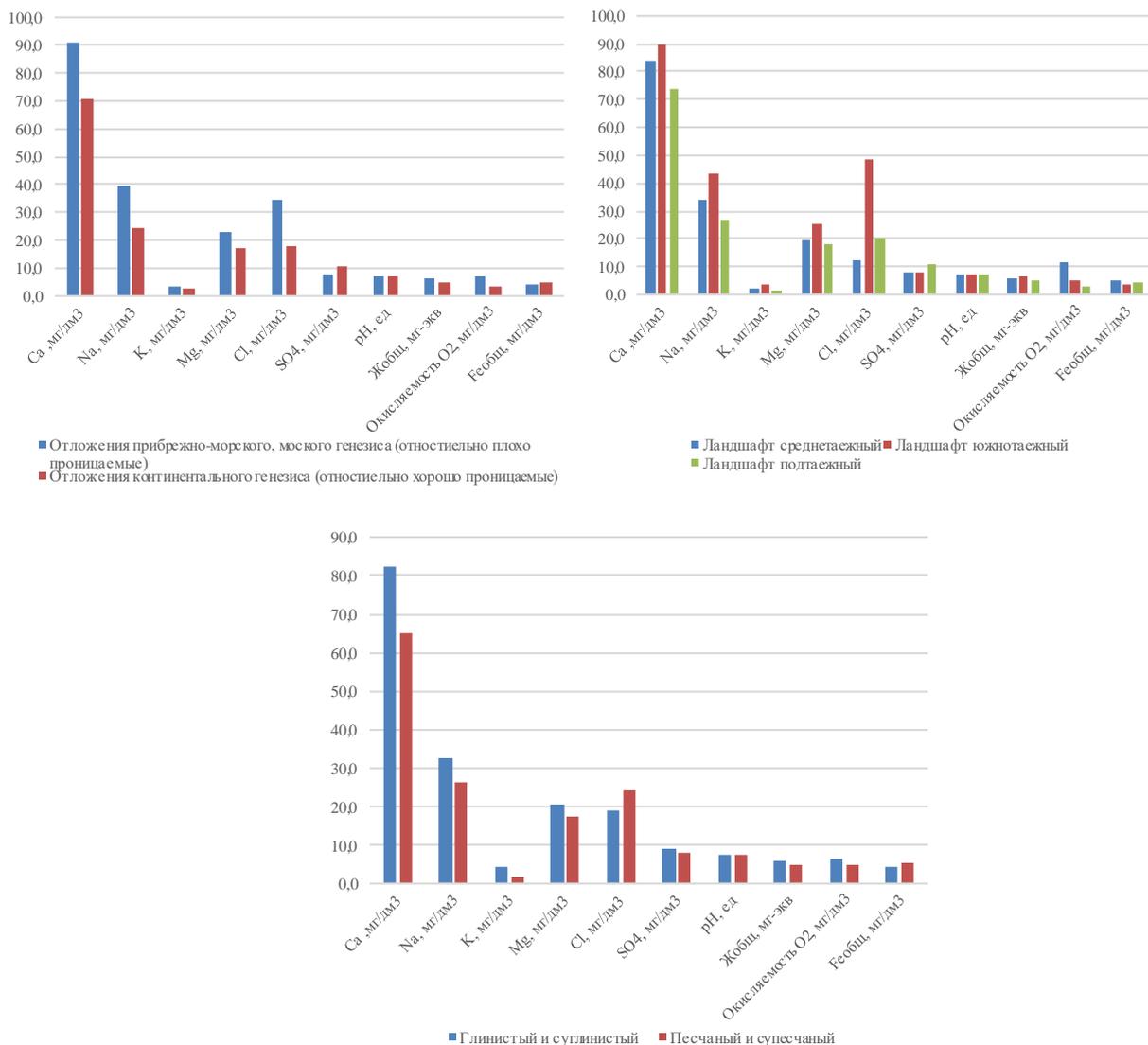


Рисунок 3 – Средние значения химического состава подземных вод палеогеновых отложений в условиях различного литологического состава водовмещающих отложений (1), ландшафтных условий (2), литологического состава перекрывающих отложений (3).

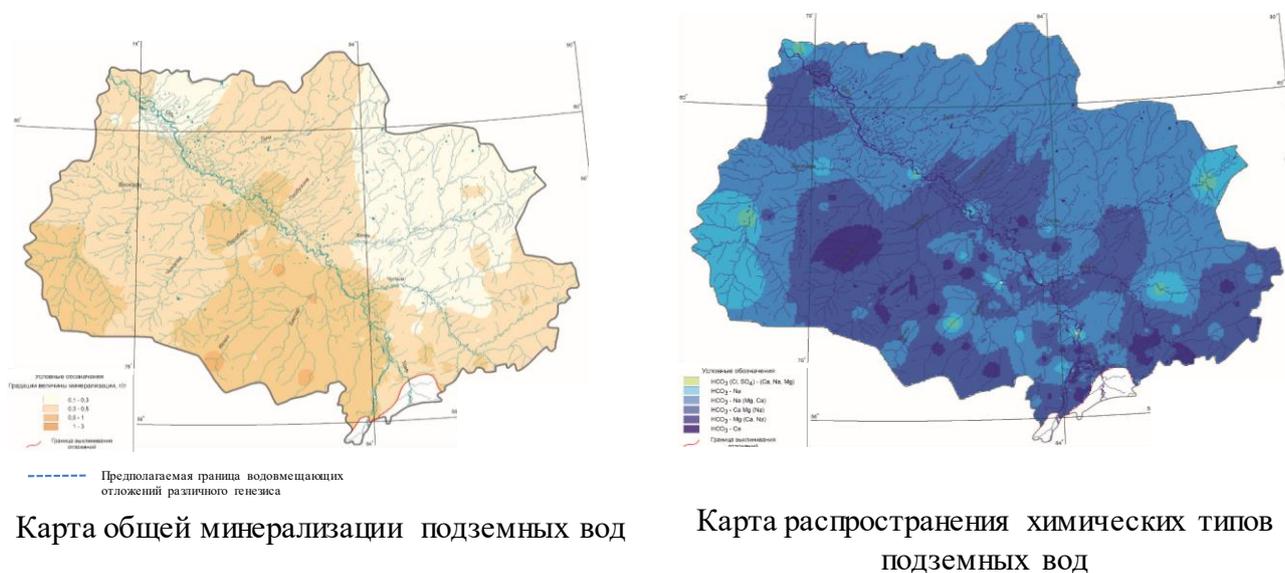


Рисунок 4 – Пространственная изменчивость химического состава подземных вод. При сохранении тенденции к уменьшению общей минерализации от южных ландшафтов к северным в подтаежной и южно-таежной зоне среднее её значение для правобережья составляет 10

порядка 470 мг/л, для левобережья – 665 мг/л. В условиях ландшафтов средней тайги величина общей минерализации для правобережья составляет около 230 мг/л, для левобережья – 505 мг/л. Таким образом общая минерализация вод левобережья р. Обь на 223 мг/л больше, чем вод правобережья.

Помимо широтной зональности для вод палеогеновых отложений характерна вертикальная зональность. С глубиной возрастают содержание хлор-иона и общей минерализации, а содержание натрия увеличивается от первого десятка до 40–60, иногда и более 100 мг/дм<sup>3</sup> в нижележащих горизонтах атлымской и юрковской свит.

Для палеогенового водоносного комплекса отмечены локальные проявления вод с повышенными значениями общей минерализации, приуроченные к долинам крупных рек и связанные с естественной разгрузкой в палеогеновый водоносный комплекс нижележащих более минерализованных вод (см. рисунок 4). В долинах рр. Обь (до устья р. Шегарка), Икса, Бакчар, Кенга, Чая величина минерализации в отдельных скважинах достигает 1,5 г/л. Максимальная минерализация, достигающая 2,8 г/л, зафиксирована в скважинах, расположенных в районе устья р. Икса. По химическому составу воды преимущественно хлоридные натриевые, кальциево-натриевые.

***Второе защищаемое положение.*** Эксплуатация подземных вод палеогеновых отложений приводит к изменению параметров среды и миграционной способности переменного-валентных химических элементов с привлечением некондиционных вод из смежных горизонтов, что при интенсификации водоотбора влияет на качество добываемых вод. В условиях среднетаежных ландшафтов в эксплуатируемых водах увеличиваются, а в условиях южно-таежных ландшафтов уменьшаются содержания железа, появляются индикаторы загрязнения – хлориды, атипичный микробиологический состав, активизируются перетоки вод из меловых отложений, фиксирующиеся повышенными аномалиями хлора и минерализации. Степень проявления изменений состава определяется интенсивностью вертикальных перетоков, количественная оценка которых может быть установлена с применением гидродинамических расчетов и численного моделирования.

Работа водозаборов гг. Стрежевой, Томска и Северска характеризует типовые условия естественно-природных и техногенных процессов, возникающих при добыче подземных вод хозяйственно-питьевого назначения на многочисленных месторождениях подземных вод палеогеновых отложений.

Водозабор г. Стрежевой с 1973 г. эксплуатирует подземные воды Стрежевского месторождения палеогеновых отложений новомихайловской, атлымской и тавдинской свит.

Схема водозабора представляет собой площадную систему, которая состоит из 21-ой наблюдательной и 17-ти эксплуатационных скважин (рисунок 5). С начала эксплуатации общий годовой водоотбор был незначительный, достигший максимума в конце 90-х гг. – свыше 12 000 тыс. м<sup>3</sup>/год. Затем он постепенно снижался и в настоящее время составляет порядка 3000-5000 тыс. м<sup>3</sup>/год.

Основные эксплуатируемые горизонты отложений атлымской и новомихайловской свиты гидравлически связаны друг с другом, представлены песками с линзами глин, бурых углей и лигнитов. Породы тавдинской свиты, по сравнению с отложениями атлымской и новомихайловской свит, существенно в большей степени обогащены органикой. На глубинах порядка 150-250 м, водоносные отложения разделены водоупором многолетнемерзлых пород (рисунок 6).

Химический состав вод эксплуатируемых отложений типичен для подземных вод, формирующихся в ландшафтно-климатических условиях средней тайги. Они ультрапресные, умеренно пресные, гидрокарбонатные кальциевые, кальциево-магниевые, умеренно жесткие.

За длительный период работы водозабора в эксплуатационном водоносном комплексе палеогеновых отложений сформировалась депрессионная воронка, границы распространения которой не могут быть точно определены из-за недостаточного количества наблюдательных скважин за пределами площади водозаборного участка.

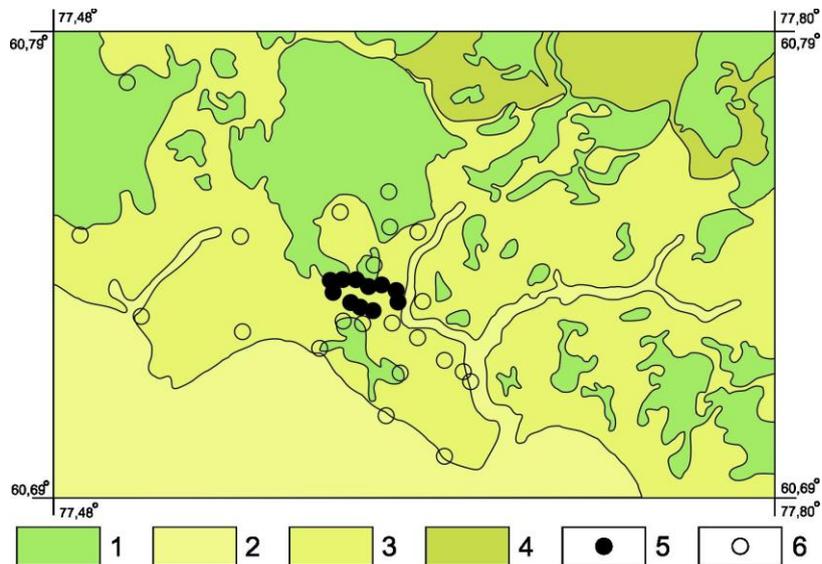


Рис.5. Схематическая гидрогеологическая карта района Стрежевского месторождения подземных вод: водоносные горизонты: 1 – современных аллювиальных отложений; 2 – современных болотных отложений; 3 – аллювиальных отложений второй надпойменной террасы; 4 – аллювиальных отложений второй надпойменной террасы; скважины: 5 – эксплуатационная; 6 – наблюдательная

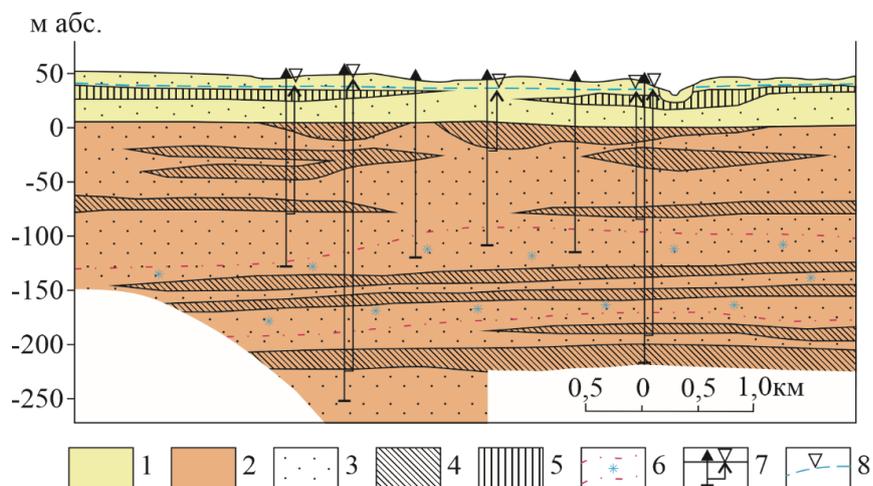


Рисунок 6 – Схематический разрез Стрежевского месторождения подземных вод: водоносные комплексы: 1 – четвертичных отложений; 2 – палеогеновых отложений; литологический состав: 3 – пески; 4 – глины; 5 – суглинки; 6 – многолетнемерзлые породы; 7, 8 – эксплуатационные скважины и уровни подземных вод

Понижение в границах депрессионной воронки связано с характером изменения нагрузки на водозаборные скважины под влиянием водоотбора и полностью объясняется техногенным фактором.

Особенности эксплуатации водозабора оказывают существенное влияние на изменение в химическом составе подземных вод. По данным режимных наблюдений установлена зависимость между изменением концентрации ионов железа (рисунок 7, а) и величиной водородного показателя pH (рисунок 7, б).

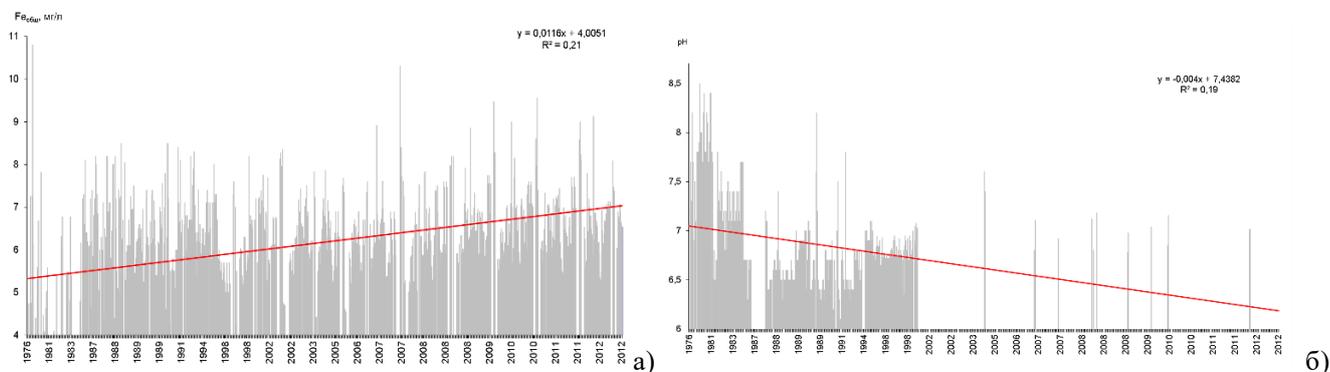


Рисунок 7 – Изменение содержания железа (а) и величины рН (б) в подземных водах при эксплуатации водозабора.

Выявленная тенденция может объясняться тем, что при формировании депрессионной воронки, возникает и сохраняется во времени своеобразная геохимическая среда за счет подтягивания кислых подземных вод из поверхностного водоносного горизонта, химический состав которого формируется под выраженным влиянием болотных вод с низким значением рН. Таким образом, формируются благоприятные условия для роста концентрации ионов железа в растворенной форме.

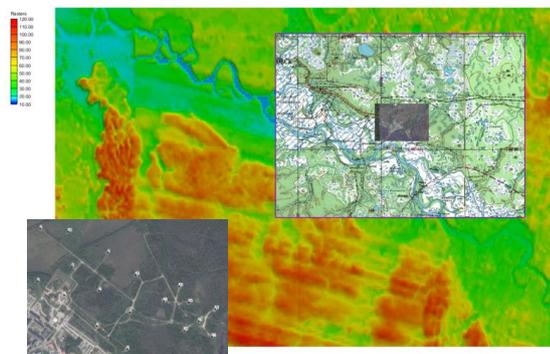
Для количественной оценки широко распространенных в районе водозаборного участка болотных вод используется гидродинамическое моделирование, позволяющее дать обобщенную оценку изменения гидрогеологических условий под влиянием эксплуатации на основе водного баланса. Исходя из этого гидрогеологические условия воспроизводятся в обобщенном виде, где ведущим фактором искусственного воздействия выступает суммарный водоотбор с условно равномерным распределением нагрузки на эксплуатационные скважины.

Пространственные параметры модели (рисунок 8) определены водовмещающей толщей, представленной породами, имеющими слоистое строение с выделением водоносных комплексов четвертичного и палеогенового возраста. Работа эксплуатационных скважин задана в фиктивном слое в средней части водоносного горизонта палеогеновых отложений мощностью 15 м, отвечающей длине фильтров. Размеры области фильтрации (160×120 км) выбирались с таким расчётом, чтобы возмущение от работы водозабора не достигало внешних контуров модели.

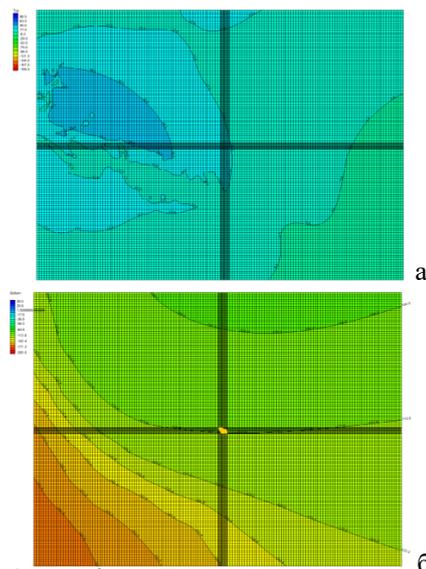
Моделирование выполнено поэтапно с последовательным усложнением строения модели, адекватность которой оценивалась упрощенно по величинам понижений в расчётных блоках с нагрузкой. В качестве критерия точности принималась близость расчетных понижений к измеренным уровням в эксплуатационных скважинах.

Прогнозная оценка работы водозабора выполнена в условиях существующей на сегодняшний день суммарной производительности эксплуатационных скважин 14000 м<sup>3</sup>/сут. При заданной интенсивности работы водозабора результаты моделирования показывают существенное сокращение предельной области захвата фильтрационного потока (рисунок 9, а) по сравнению с таковой при максимальном водоотборе 30000 м<sup>3</sup>/сут. Особенно наглядно это сокращение проявляется для зоны захвата фильтрационного потока на расчетный срок 10000 сут, которая практически не выходит за границы площади расположения водозаборных скважин. (рисунок 9, б).

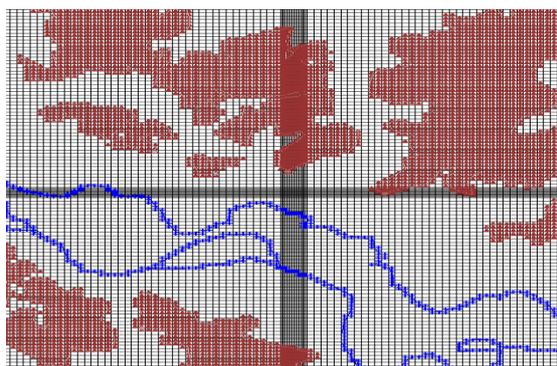
Анализ межпластовых перетеканий по данным моделирования позволяет сделать вывод о том, что при уменьшении производительности водозабора с поверхности, во второй слой модели попадает расход в количестве 661,36 м<sup>3</sup>/сут близкий по геохимическому облику к поверхностным водам, формирующимся в значительной степени под влиянием болотных массивов.



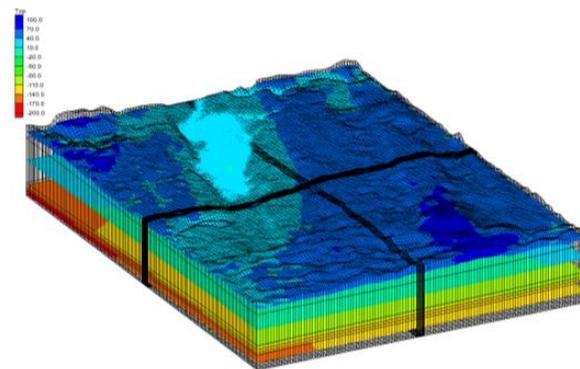
Совмещенные слои топографической основы, цифровой модели рельефа, границ конечно-разностной сетки численной модели области фильтрации (синий контур) и космоснимка, использованного для привязки водозаборных скважин (врезка)



Абсолютные отметки кровли (а) и подошвы (б)



Граничные условия, заданные в верхнем слое модели (линейные – реки, площадные – крупные болотные массивы)



Конечно-разностная сетка численной модели области фильтрации (сетка имеет более плотную разбивку в границах водозаборного участка, вертикальный масштаб для наглядности увеличен)

Рисунок 8 – Схема численной гидрогеодинамической модели водозабора г. Стрежевой

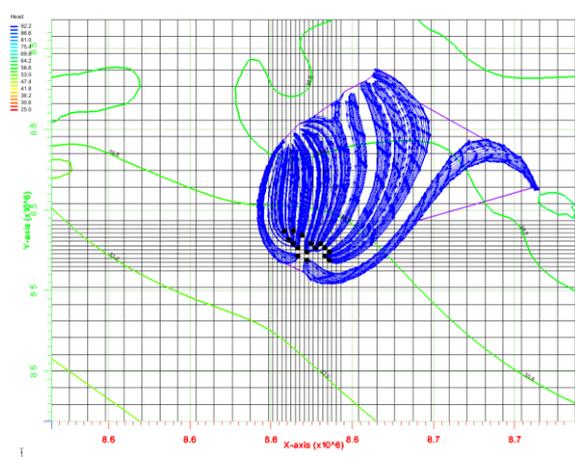


Рисунок 9 – а) Предельные размеры зоны захвата фильтрационного потока и темпы движения подземных вод по направлению к водозаборным скважинам (расстояние между стрелками соответствует времени 100000 сут или 274 года) при уменьшении производительности водозабора до  $14000 \text{ м}^3/\text{сут}$ ;

б) Размеры зоны захвата фильтрационного потока на расчётный срок 10000 сут при суммарной производительности  $14000 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

В этом случае с учетом суммарного расхода водозабора интенсивностью  $14000 \text{ м}^3/\text{сут}$  доля поверхностных вод на глубине установки фильтров эксплуатационных скважин возрастает до

12,92%, т.е. составляет почти 13%. Результаты моделирования показывают, что при изменении производительности водозабора доля поверхностных вод, поступающих на глубину изменяется не существенно и может быть принята для проведения прогнозных физико-химических расчётов состава природных растворов на уровне 10 % от суммарного расхода эксплуатационных скважин.

Томский водозабор из подземных источников, эксплуатирующийся с 1973 г., содержит в настоящее время 198 эксплуатационных скважин, расположенных на трех линиях общей протяженностью более 60 км (рисунок 10). Производительность ряда скважин I линии достигает 2-2,5, а отдельных – до 2,9 тыс. м<sup>3</sup>/сут. В пределах II и III линий водозабора преобладают скважины с дебитами 1,5 – 2,0 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Глубина залегания водоносных пород возрастает с юга на север от 40 до 80 м, а мощность продуктивной толщи изменяется от 20-30 м в юго-восточной части месторождения до 90-150 м – в северной. Разведанные эксплуатационные запасы подземных вод составляют 500 тыс.м<sup>3</sup>/сут.

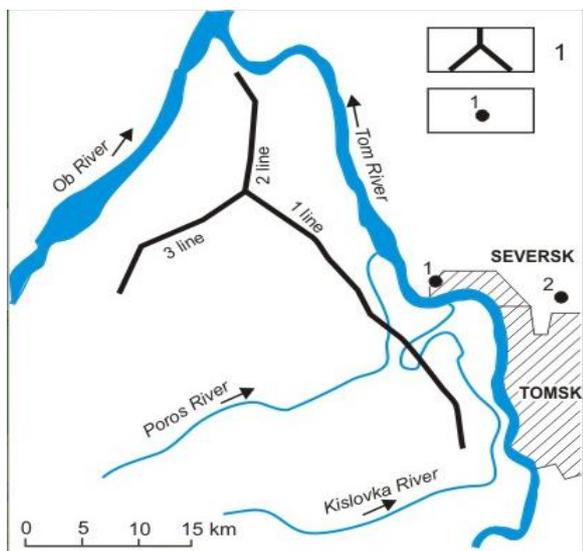


Рисунок 10 – Схема расположения водозаборов г. Томска и Северска: 1 – линии эксплуатационных скважин водозабора города Томска; 2 – водозаборы г. Северска

Химический состав подземных вод изучался в течение всего периода освоения месторождения: при разведке, режимных наблюдениях, выполнении регламентных эксплуатационных работ, контроле качества воды, подаваемой населению. Согласно материалам мониторинговых наблюдений, выполненных службами водозабора, ООО «Томскгеомониторинг», исследованиям сотрудников кафедры гидрогеологии Томского политехнического университета воды эксплуатационных скважин гидрокарбонатные с различными соотношениями кальция и магния, пресные с минерализацией от 196 до 600 мг/дм<sup>3</sup>, от слабокислых до слабощелочных (рН от 6,2 до 8,0), от очень мягких до жестких (от 0,6 до 7,0 при среднем значении 3,8 мг-экв./дм<sup>3</sup>), преимущественно умеренно-жесткие (таблица 2).

Таблица 2.

Химический состав подземных вод палеогеновых отложений в районе Томского водозабора

Компоненты	Единицы измерения	Минимальное	Максимальное	Среднее
Ph	-	6,2	8	7,26
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/л	159	451	345
Cl <sup>-</sup>	мг/л	0,72	17,7	6,42
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/л	0	4	0,32
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/л	0	0,14	0,03
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	мг/л	0	0,05	0,004
Ca <sup>2+</sup>	мг/л	12	110	75,8
Mg <sup>2+</sup>	мг/л	6,03	24	14,5
Na <sup>+</sup>	мг/л	6,44	80	14,3
K <sup>+</sup>	мг/л	0,75	3,46	1,26
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мг/л	0	2,2	0,62
SiO <sub>2</sub>	мг/л	3,23	10,2	7,55
Сумма	мг/л	188	702	466
CO <sub>2</sub> св	мг/л	8,85	66	19,9
Fe	мг/л	0,63	10	1,71
O <sub>2</sub>	мг/л	0,1	3,52	0,36
Zn	мкг/л	4,09	154	20,8
Mn	мкг/л	1,63	134	8,92
Pb	мкг/л	0,21	19	1,16
Cu	мкг/л	0,1	7,15	1,09
Cr	мкг/л	0,17	11,2	4,61
Li	мкг/л	4,88	22	7,62

Эксплуатация месторождения привела к формированию единой воронки депрессии, занимающей площадь более 1000 км<sup>2</sup> и снижению уровней в скважинах до 8-10 метров (в палеогеновом горизонте). Столь значительные изменения гидродинамических условий приводят и к изменениям качества извлекаемых вод. Основные механизмы этих изменений связаны, с одной стороны, с аэрацией недр, происходящей в объемах, формирующихся депрессионных воронок и перетоками аэрированных вод из вышележащих горизонтов. С другой стороны, с упруго-деформационными процессами в слоистых толщах при работе скважин водозабора и активизацией перетоков из нижезалегающих горизонтов существенно отличающихся по составу вод. Подобные изменения прослеживаются через временную изменчивость концентраций железа общего и хлор-иона. Изменения содержаний хлор-иона связаны с интенсификацией перетоков из глубокозалегающих горизонтов. Снижение же содержаний железа связано с переходом его из раствора в твердую фазу при перетоках вод, из залегающих выше и более обогащенных кислородом неоген-четвертичных водоносных горизонтов.

Аналогичные процессы в аспекте аэрации недр в результате длительной эксплуатации месторождения подземных вод характерны и для водозаборов г. Северск находящихся в подобных условиях.

Данные многолетних наблюдений свидетельствуют о достаточно явно проявляющемся в водах эксплуатирующихся горизонтов, снижении содержаний железа в результате активизации процессов аэрации, имеющих место в аналогичных условиях Томского водозабора (рисунок 11).

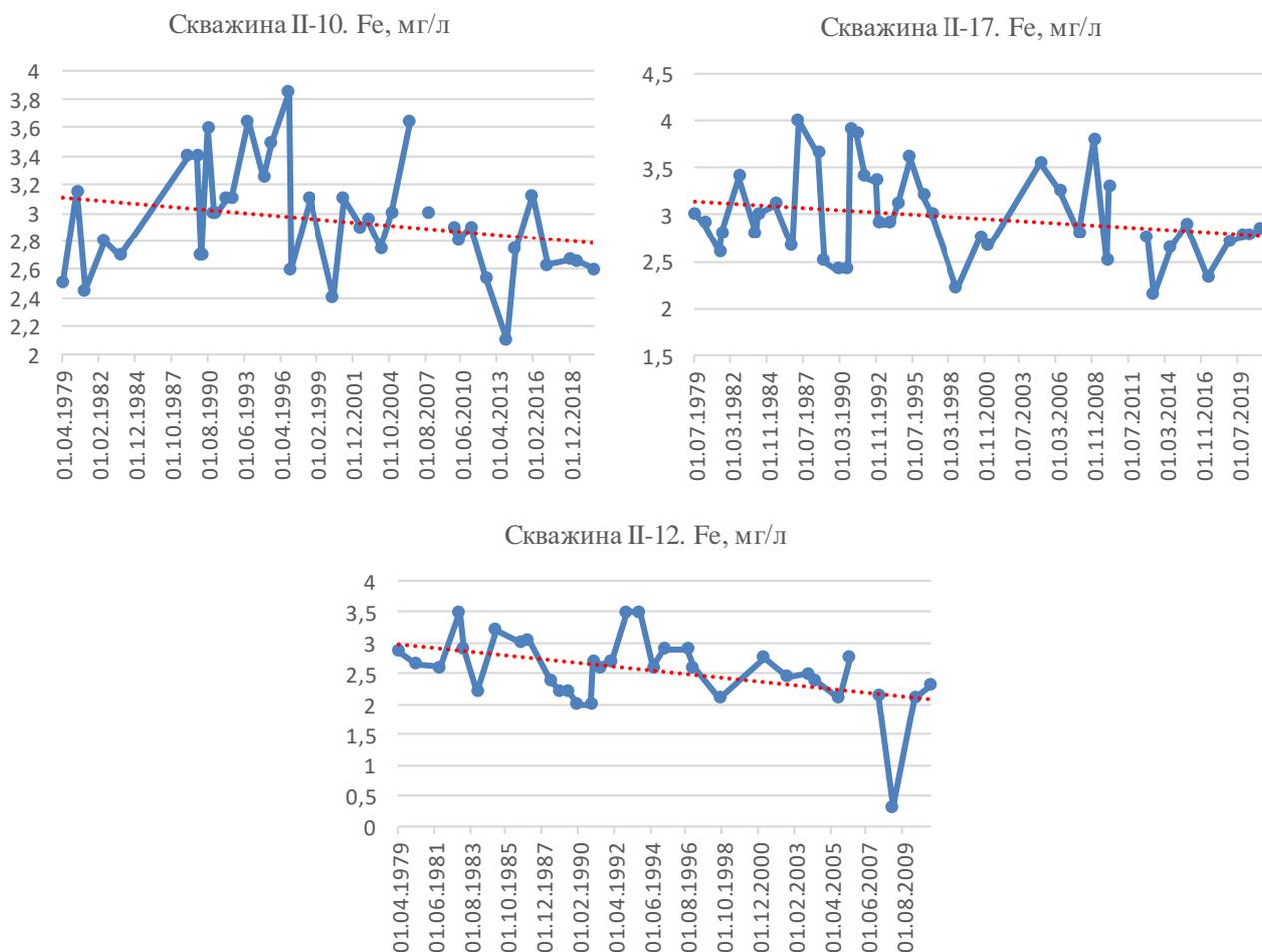


Рисунок 11 – Временная изменчивость концентраций железа общего в эксплуатационных скважинах подземного водозабора 2 г. Северск

Территориально водозаборы г. Северск расположены на правом берегу р. Томи (см. рисунок 10). Водозабор 1, эксплуатирующийся с 1962 года состоит из 32 скважин, оборудованных на палеогеновый водоносный горизонт. Водозабор 2, работающий с 1971 года состоит из 22 скважин и эксплуатирует воды палеогенового и верхнемелового водоносных горизонтов. Производительность отдельных скважин колеблется от 40 до 120 м<sup>3</sup>/сут. Суммарная производительность водозаборов составляет порядка 23 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Водозабор 1 расположен на интенсивно освоенной в хозяйственном отношении территории, в окружении промышленных, аграрных предприятий и жилой застройки, включая г.Северск. Потенциальные источники загрязнения подземных вод, расположены в непосредственной близости, практически по контуру водозабора. Это золоотвалы ТЭЦ на западе, завод крупнопанельных строительных материалов, ТЭЦ и его мазутохозяйство, сублиматный и ремонтно-механический заводы СХК на севере, пассажирско-грузовое автохозяйство г. Северск на востоке, садово-огородные участки п. Иглаково, мелкие частные предприятия на территории бывшего теплично-парникового хозяйства на юге. Существующая ситуация позволяет говорить о неблагоприятной санитарно-эпидемиологической обстановке в данном районе.

Санитарная обстановка в пределах ЗСО водозабора №2 существенно отличается от таковой на водозаборе №1. В непосредственной близости отсутствуют крупные производственные объекты. ЗСО I пояса в нормативных границах и входящая в неё, принятая по результатам расчетов ЗСО II пояса, не выходит за пределы земельного участка водозабора и не накладываются на СЗЗ каких-либо объектов. В границах ЗСО III пояса расположены склад ГСМСХК, садово-огородные участки, часть объектов Томского нефтехимического комбината, окраина городского кладбища, полигон промышленных отходов и канализационные очистные сооружения г. Томск. Сравнительная оценка санитарно-эпидемиологической обстановки на территории ЗСО водозаборов говорит о более благоприятных условиях в районе водозабора №2.

По химическому составу воды эксплуатационных скважин водозаборов гидрокарбонатные с различными соотношениями кальция и магния, пресные, нейтральные и слабощелочные, умеренно-жесткие (таблица 3).

В целом подземные воды являются типичными представителями вод таежных и подтаежных ландшафтов железо-марганцевой Западно-Сибирской геохимической провинции. Значения, превышающие предельно допустимые для вод хозяйственно-питьевого назначения, имеют здесь содержания железа, марганца и кремния. Вариации значений показателей химического состава, закономерности и масштабы их изменений зависят от пространственного положения и литолого-фациальной принадлежности пород, техногенной напряжённости.

В отношении техногенной напряжённости особое внимание следует уделить водозабору 1.

Таблица 3

Химический состав подземных вод водозаборов г. Северск (составлено по данным служб водозаборов)

Показатели	Водозабор 1			Водозабор 2		
	Минимальное	Максимальное	Среднее	Минимальное	Максимальное	Среднее
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	220	967	390	214	312	251
pH	7	7,6	7,3	6,9	7,4	7,1
Жесткость, мг-экв./дм <sup>3</sup>	4,1	6,9	5,1	3,5	6,1	4,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	262	386	330	228	366	260
Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	2	253	29	2	5,1	2,3
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	2	36	8	2	17,2	5,3
Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	60	242	85	50	81	63
Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	4	34	16	7	28	13
Na, мг/ дм <sup>3</sup>				1	17	8
Fe <sub>общ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	3	6,7	4,8	1,1	4,5	2,4
Mn, мг/дм <sup>3</sup>	0,2	0,6	0,4	0,02	0,39	0,24
Si, мг/ дм <sup>3</sup>	10,3	14,8	12	11	14	12
CO <sub>2</sub> св., мг/дм <sup>3</sup>	44	68	56	38	62	49
Окисляемость, мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	1,4	4,7	2,4	0,8	2,3	1,5

Изучение микрофлоры Северского водозабора в проведенных ранее исследованиях выявило индикаторные на химическое и микробиологическое загрязнение физиологические группы микроорганизмов: мезофильные и психрофильные сапрофиты, олиготрофы, нефтеокисляющие, нитрифицирующие, денитрифицирующие, сульфатредуцирующие и железобактерии. Присутствие аллохтонной (чужеродной) микрофлоры обусловлено проникновением микроорганизмов из верхних водоносных горизонтов, связанных с почвами и атмосферой. Появляются они в подземных водах могут так же в результате инфильтрации и сброса загрязненных поверхностных и сточных вод.

*Третье защищаемое положение. Эксплуатация месторождений подземных вод, приуроченных к фундаменту артезианского бассейна на его юго-восточной окраине, при интенсификации водоотбора активизирует окисление сульфидов в зоне аэрации и в толще пиритизированных водовмещающих пород. Подкисление вод и более высокие концентрации сульфат-иона усиливают миграционную способность элементов и повышают растворимость карбонатных минералов. Это приводит к росту общей жесткости, иногда выше предельно допустимых значений.*

На юге области, в пределах структур АСО, где палеогеновые отложения отсутствуют, интенсивно эксплуатируются подземные воды комплекса палеозойских образований, являющихся здесь единственным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения. Академическое месторождение является типичным представителем, эксплуатирующим подземные воды этого комплекса.

Водозабор Академического месторождения подземных вод эксплуатируется с 1974 г., обеспечивая водой питьевого качества микрорайон Академгородка с населением свыше 6000 человек. Групповой водозабор в разное время объединял работу от четырех до тринадцати гидрогеологических скважин, расположенных на одной водозаборной площадке размером полтора на два километра с максимальным расстоянием до пятисот метров между отдельными водозаборными сооружениями, глубина которых достигает 110 м (рисунок 12). Фильтры скважин расположены на глубинах от 14 до 80 м. В качестве водоподъемного оборудования использованы погружные скважинные насосы, глубина установки которых изменяется в пределах от 45 до 85 м.

Водовмещающие породы эксплуатационной части гидрогеологического разреза приурочены к интервалу зоны экзогенной трещиноватости, затухающей с глубиной. Поэтому производительность водозаборных скважин существенно изменяется как по площади водозаборного участка, так и по времени эксплуатации отдельных гидрогеологических скважин в диапазоне от 100 до 400 м<sup>3</sup>/сут. Это определяет среднюю величину дебита водозабора в 1200 м<sup>3</sup>/сут.

С точки зрения геологического строения месторождение подземных вод входит в границы Колывань-Томской складчатой зоны. Водовмещающие горные породы, рассечённые дайками пермо-триасового возраста, представлены трещиноватыми толщами водоносного комплекса нижнекаменноугольных отложений с многочисленными тектоническими нарушениями. По данным разведочных работ, выполненных ранее, установлено, что наиболее водообильная часть гидрогеологического разреза приурочена к зоне экзогенной трещиноватости и тектоническим нарушениям. Для этих участков месторождения характерны удельные дебиты скважин, изменяющиеся в пределах 0,3–2,1 л/с при их производительности 5,7 – 23,0 м<sup>3</sup>/с, что обусловлено высокой водообильностью водовмещающих отложений.

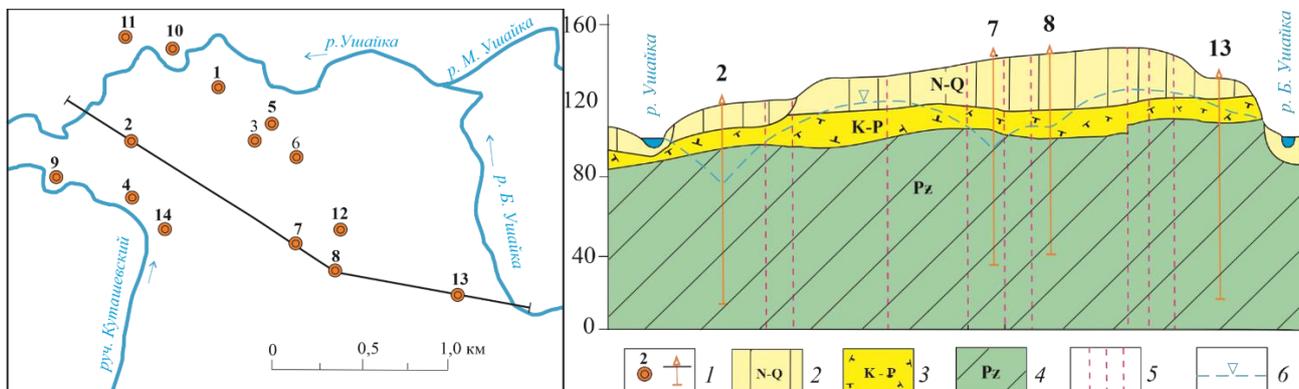


Рисунок 12 – Схема расположения скважин и схематический гидрогеологический разрез в пределах Академического месторождения (фактические материалы В.Л. Карлсон, 1990, Е.М. Дутова 1990): 1 – эксплуатационная скважина и её номер; 2, 3 – водоносные комплексы: 2 – неоген-четвертичных отложений, 3 – палеозойских отложений; 4 – кора выветривания; 5 – разрывные нарушения; 6 – положение подземных вод

По составу подземные воды характеризуются преимущественно гидрокарбонатным анионным составом с различным процентным соотношением катионов кальция и магния. Отмечается повышенная жёсткость подземных вод от градации умеренно жёсткой до жёсткой (таблица 4). Состав подземных вод по основным показателям соответствует общим региональным особенностям и в целом вписывается в типичную характеристику подземных вод ландшафтной зоны тайги Колывань-Томской складчатой зоны.

Под влиянием длительной эксплуатации месторождения подземных вод на территории водозаборного участка сформировалась депрессионная воронка, размеры которой оцениваются площадью в 2,5 км<sup>2</sup>. Увеличение площади распространения ограничено в восточном и северном направлениях в силу наличия тесной гидродинамической связи подземных вод с поверхностными водами рек Ушайка и Большая Ушайка. При этом максимальные величины понижения уровня подземных вод в отдельных наиболее нагруженных скважинах достигают 17–23 м. Эксплуатация подземных вод осуществляется преимущественно в условиях безнапорного фильтрационного потока, проявления местного напора встречаются только на отдельных участках. В таких гидродинамических условиях снижение уровня подземных вод под воздействием водоотбора сопровождается осушением водовмещающих пород в зоне аэрации. Периодические остановки насосного оборудования сопровождаются восстановлением уровня подземных вод, что определяет особый режим аэрации верхней части гидрогеологического разреза в окрестностях активных эксплуатационных скважин.

Таблица 4

Характеристики состава подземных вод по данным мониторинговой службы водозабора

Показатели	1999-2005			2014-2019			2014-2019		
	Среднее	Мин.	Макс.	Среднее	Мин.	Макс.	Среднее	Мин.	Макс.
Температура, °С	6,1	4,7	6,9	5,9	4,7	6,6	6,7	5,3	7,2
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	393,8	312,7	526,5	409,3	343,1	513,8	431,4	353,3	581,9
рН, ед.	7,2	6,9	7,6	7,3	7,0	7,5	7,3	7,0	7,5
Жесткость общая, мг-экв/л	7,1	5,4	9,5	6,8	5,7	8,4	6,8	5,5	8,5
НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	417,7	374,7	450,5	413,1	360,9	464,6	403,3	308,0	464,2
Сl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	2,9	0,9	6,5	3,9	1,5	7,8	4,9	1,2	11,8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	17,5	0,8	51,3	22,8	0,4	50,6	16,5	3,6	32,3
Ca <sup>2+</sup> , мг-экв/л	5,3	4,4	6,6	5,4	4,7	6,7	5,4	4,5	6,5
Mg <sup>2+</sup> , мг-экв/л	1,8	0,8	3,1	1,4	0,8	1,9	1,4	0,7	2,2
Fe <sub>общ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	2,2	0,8	4,4	2,8	0,8	6,4	2,6	0,7	5,8

Процесс аэрирования подземных вод в непосредственной близости от водозаборной скважины при её периодических остановках приводит к переходу растворённого железа в твёрдую

фазу. Длительная работа водозабора Академического месторождения подземных вод показывает, что этот процесс не только имеет место на практике, но и уверенно фиксируется падением концентрации железа в подземных водах, поступающих на головные сооружения водозабора для водоподготовки (рисунок 13, а).

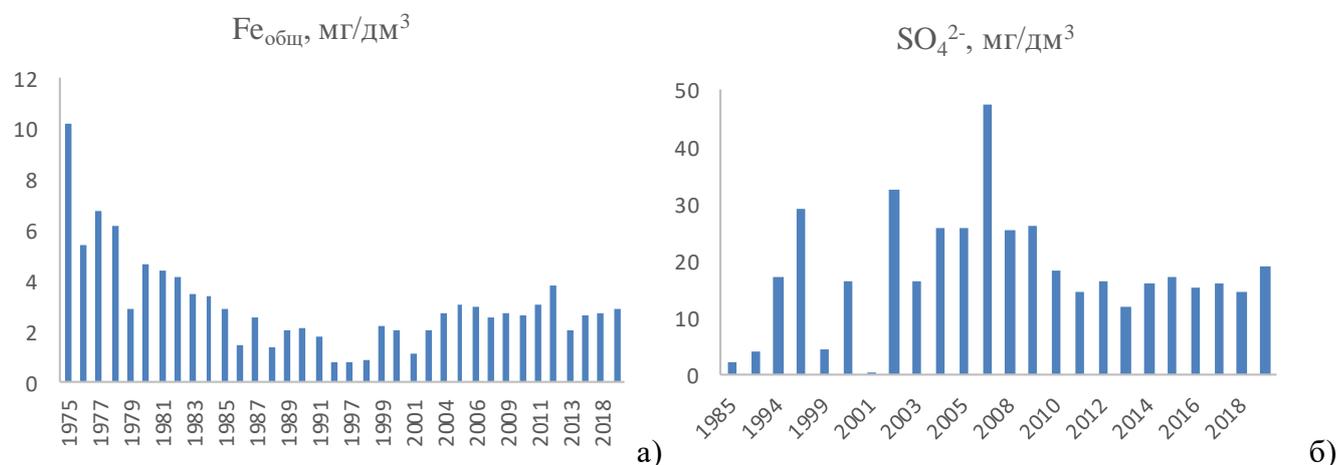
На графике видно, что наиболее интенсивное сокращение концентрации общего железа с 10 до 2–4 мг/дм<sup>3</sup> в водах месторождения приходится на первые несколько лет активной работы водозабора. Затем в период с 1980 по 1997 гг. фиксируется постепенное, достаточно равномерное снижение содержания до концентраций менее 0,1 мг/дм<sup>3</sup>. Затем наблюдается возрастание концентраций железа на протяжении 8 лет, достигающих к 2005–2006 гг. значений 3–3,5 мг/дм<sup>3</sup>, переходящего в достаточно стабильное состояние с колебаниями в пределах 1–1,5 мг/дм<sup>3</sup> и незначительной тенденцией к снижению.

С высокой долей вероятности можно предположить, что эксплуатация Академического месторождения подземных вод приводит к активизации процессов окисления в зоне аэрации не только железа, но и сульфидов. Наличие исходного материала для такого окислительного процесса объясняется известным фактом региональной пиритизации палеозойских образований фундамента. Окислительные процессы с течением времени приводят к устойчивому росту концентрации сульфат-иона в подземных водах эксплуатационных скважин (рисунок 13, б).

Наиболее интенсивный рост содержания компонента в водах приурочен к периоду эксплуатации водозабора до 2006 г. Концентрации с минимальных значений 1–3 мг/дм<sup>3</sup> достигают 45–47 мг/дм<sup>3</sup> в течение 22 лет. Затем содержание сульфат-иона на протяжении 6–7 лет снижается до уровня 11–15 мг/дм<sup>3</sup> и с незначительными колебаниями остается на уровне 16–19 мг/дм<sup>3</sup>.

Процесс окисления сульфидов провоцирует другой, сопряжённый с ним, эффект снижения показателя рН. По всем эксплуатационным скважинам прослеживается подкисление подземных вод от слабо щелочных и нейтральных до слабо кислых (рисунок 13, в).

График изменчивости рН вод месторождения показывает достаточно широкий диапазон колебания в период 1985–2006 гг. в пределах 6,8–7,7 ед. Однако тенденция к снижению величины прослеживается достаточно четко. С 2008 г. по настоящее время общий тренд снижения величины рН сохраняется при диапазоне изменчивости 7,15–7,5 ед.



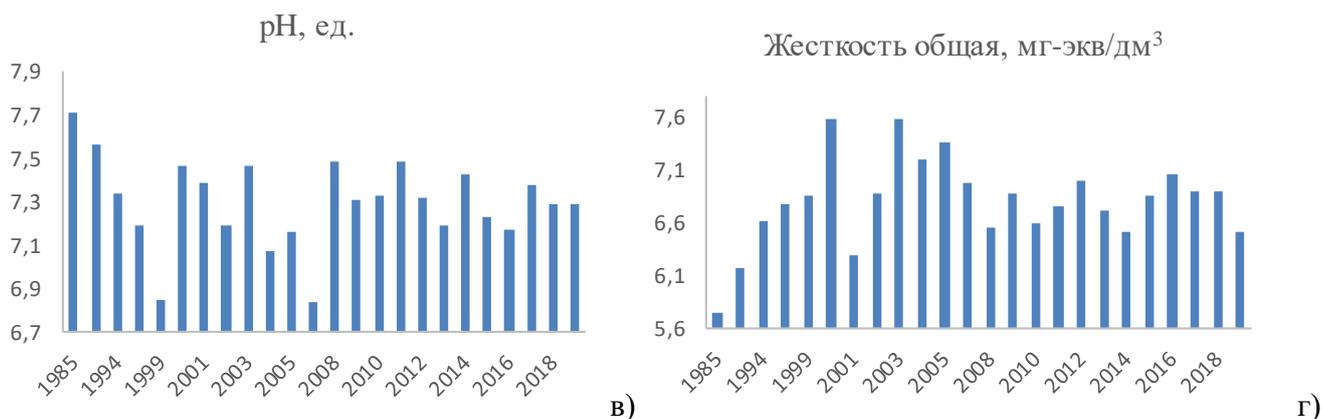


Рисунок 13 – Временная изменчивость концентрации: а) железа общего; б) сульфат-иона; в) временная изменчивость pH; г) общей жесткости;

Отмеченные изменения гидрогеохимической обстановки и рост содержания сульфат-иона приводят к интенсификации продуцирования комплексных соединений, что способствует дополнительному росту и усилению миграционной способности химических элементов (рисунок 13, г). Результаты этих взаимосвязанных процессов приводят к общему росту концентраций компонентов химического состава подземных вод, что в свою очередь приводит к более активному переходу ионов кальция и магния в раствор. Эти тенденции изменения качества подземных вод находят отражение в результатах режимных гидрогеохимических наблюдений в виде роста не только концентраций сульфат-иона, но и в некотором увеличении общей жёсткости подземных вод.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основой хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Томской области из подземных источников являются водоносный комплекс палеогеновых отложений и водоносный комплекс складчатого обрамления АСО (юг Томского района Томской области). Зональное изменение природно-климатических условий территории исследования определяет в пределах ландшафтных зон широтную гидрогеохимическую зональность подземных вод в соответствии с хорошо известными общими закономерностями, согласно которым наиболее минерализованные и щелочные подземные воды формируются в обстановках лесостепи и южной тайги, а наиболее пресные и кислые – в подзоне средней заболоченной тайги. Помимо ландшафтно-климатического фактора на состав вод оказывает влияние режим водообмена, обусловленный, в значительной степени, литологическим составом водовмещающих отложений континентального, прибрежно-морского и морского генезиса. В условиях тесной гидрогеодинамической связи вод комплекса с водами перекрывающих отложений состав этих отложений также оказывает заметное влияние на водообмен и, как следствие, геохимический состав вод.

Наряду с этим прослеживается вертикальная гидрогеохимическая зональность, в соответствии с которой в водах, приуроченных к нижележащим горизонтам комплекса увеличивается концентрация ионов хлора и натрия, повышается общая минерализация вод.

В пределах локальных участков, приуроченных к долинам крупных рек, ассоциированных с тектоническими нарушениями, отмечаются значительные повышения как общей минерализации вод (до нескольких граммов на дм<sup>3</sup>), так и рост концентрации отдельных компонентов химического состава, сопровождаемый сменой гидрогеохимического типа вод с типичного гидрокарбонатного (с вариациями содержания кальция и магния) на хлоридный натриевый.

Длительная активная эксплуатация крупных месторождений подземных вод, приуроченных к палеогеновым отложениям в пределах распространения южно-таежных ландшафтов, приводит к интенсификации разгрузки вод из нижележащих водоносных горизонтов с повышенными концентрациями компонентов химического состава. Одновременно происходит подтягивание аэрированных вод из перекрывающих отложений, приводящих к смене гидрогеохимических сред и, как следствие, к ухудшению как условий эксплуатации гидротехнических сооружений, так и снижению качества воды.

Ведущим фактором формирования эксплуатационных запасов подземных вод является возможность их восполнения за счет емкостных запасов эксплуатационного водоносного комплекса палеогеновых отложений и привлекаемых ресурсов неоген-четвертичного водоносного комплекса, которые составляют подчиненную, но значительную часть в суммарном водоотборе эксплуатационных скважин. В свою очередь запасы подземных вод неоген-четвертичного водоносного комплекса пополняются избыточным (по сравнению с величиной испарения) количеством атмосферных осадков и обеспечены влиянием питающих границ (первого рода), представленных многочисленными (и значительными по площади) болотными массивами, другими поверхностными водоемами и водотоками. Обширные болотные массивы способствуют формированию восстановительной геохимической обстановки водной среды, которая под влиянием разницы напоров за счет создания депрессии в эксплуатационном водоносном комплексе, способна оказывать влияние на изменение условий водной среды в нижних частях гидрогеологического разреза в зоне работы фильтров водозаборных скважин. Объемы перетекания, формирующиеся под влиянием работы группового водозабора непостоянны во времени в связи с выявленными тенденциями изменения водопотребления. Количественная оценка объемов перетекания и их изменения во времени поддается количественному учету с использованием численного моделирования.

На водозаборных участках, приуроченных к зонам экзогенной трещиноватости горно-складчатого обрамления, аэрация гидрогеологического разреза на локальных участках размещения водозаборных скважин может приводить к долговременным и заметным изменениям в химическом составе подземных вод. Интенсивность влияния этого фактора контролируется изменяющимся во времени объемом водоотбора и неравномерным распределением нагрузки по отдельным скважинам, что явно фиксируется на графиках изменчивости состава подземных вод. Тем не менее, общие тренды основных направлений изменчивости химического состава, такие как: снижение содержания общего железа, рост концентрации сульфат-иона, рост общей жесткости, снижение величины рН, установленные ранее проведенными исследованиями, могут сохраняться в течение длительного времени.

Эксплуатация месторождений подземных вод, водовмещающие породы которых пиритизированы, активизирует и окисление сульфидов в зоне аэрации и водосодержащей толще. Окисление сульфидов сопровождается подкислением вод, которое способствует повышению растворимости карбонатных минералов. Повышение концентраций сульфат-иона, в свою очередь, активизирует образование комплексных соединений, что усиливает миграционную способность элементов. Таким образом, воды обогащаются элементами, которые повышают общую жесткость и минерализацию.

Полученные автором результаты могут быть использованы при решении проблемам экологической безопасности и вопросов хозяйственно-питьевого водоснабжения, направленных на разработку его перспективных планов, при мониторинге экологического состояния окружающей среды, а также в качестве основы для районирования территории по условиям и интенсивности загрязнения.

### **Список основных опубликованных работ по теме диссертации**

*Статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК или международные реферативные базы данных:*

1. Дугова Е.М., Кузеванов К.И., Кузеванов К.К. Гидродинамическое обоснование изменений гидрогеохимических условий Стрежевского месторождения подземных вод (Томская область) // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 2019. – Т. 330, № 9. – С. 204-220.
2. Кузеванов К.К., Дугова Е.М., Кузеванов К.И. Гидродинамическое обоснование изменений гидрогеохимических условий Академического месторождения подземных вод (Томская область, г. Томск)» принята к печати и будет опубликована в журнале Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов – 2022. – Т. 333. – № 6.

3. Hydrogenous mineral neof ormations in Tomsk water intake facility from underground sources / E. Dutova, N. Nalivaiko, K. Kuzevanov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Tomsk, 23–27 ноября 2015 года. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2016. – P. 012017.
4. Karmalov A.I., Dutova E.M., Vologdina I.V., Pokrovsky D.S., Pokrovskiy V.D., Kuzevanov K.K. Hydrogeochemical characteristics of water intakes from groundwater sources in Seversk // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2016. С. 012032.
5. Кузеванов К.И., Кузеванов К.К., Дутова Е.М., Покровский В.Д. Гидрогеологические условия Бакчарского железорудного месторождения и предварительная оценка водопритоков // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 4 (65). С. 22-36.

*Публикации в других научных изданиях:*

1. Кузеванов К.К., Дутова Е. М. Изменчивость ионно-солевого состава подземных вод палеогеновых отложений Томской области // Роговские чтения. Проблемы инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии урбанизированных территорий: материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 85-летию со дня рождения профессора Геннадия Маркеловича Рогова, Томск, 7-9 апреля 2015 г. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2015 – С. 37-39.
2. Кузеванов К. К. Анализ геохимических особенностей подземных вод палеогеновых отложений Томской области методами ГИС-технологий // Проблемы геологии и освоения недр труды XIV Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 65-летию Победы советского народа над фашистской Германией в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг., 5-9 апреля 2010 г. г. Томск: в 2 т.: / Томский политехнический университет (ТПУ). – 2010. – Т. 1. – С. 288-289.
3. Олейник, В. А. Кузеванов К. К. Изучение влияния подземных вод на состав геохимической среды болотных ландшафтов // Проблемы геологии и освоения недр труды XII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 100-летию первого выпуска горных инженеров в Сибири и 90-летию создания Сибгеолкома в России / Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – С. 272-273.
4. Поскотинов, А.Е., Васильев Д.И., Кузеванов К.К. Миграция химических элементов в подземных водах Томской области // Проблемы геологии и освоения недр труды XIX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией, Томск, 6-10 апреля 2015 г.: в 2 т.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – Т. 1. – С. 444-446.