

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»**

На правах рукописи

ГРИДАСОВ АЛЕКСАНДР ГЕННАДЬЕВИЧ

**ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТУТУЯССКОЙ МУЛЬДЫ
КУЗНЕЦКОГО БАСЕЙНА В СВЯЗИ С ПЕРСПЕКТИВОЙ ДОБЫЧИ
МЕТАНА ИЗ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

Специальность 25.00.07 – Гидрогеология

диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель
кандидат геолого-минералогических
наук, доцент Кузеванов К.И.

Томск – 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Характеристика изученности объекта.....	9
1.1. История геолого-гидрогеологического изучения Кузбасса.....	10
1.2. Исследования в связи с добычей угольного метана.....	17
1.3. Современная изученность Подобасско-Тутуянской депрессии.....	19
2. Природные условия.....	23
2.1. Физико-географический очерк.....	24
2.1.1. Климат.....	24
2.1.2. Орография.....	25
2.1.3. Гидрография.....	26
2.1.4. Ландшафт.....	28
2.2. Геологическое строение.....	29
2.2.1. Стратиграфия и литология.....	30
2.2.2. Тектоника.....	38
3. Гидрогеологические условия.....	43
3.1. Гидрогеологическая стратификация.....	44
3.1.1. Первый водоносный комплекс ($PR - C_1$).....	45
3.1.2. Второй водоносный комплекс ($C_1 - P_2$).....	47
3.1.3. Третий водоносный комплекс ($P - T$).....	49
3.1.4. Четвёртый водоносный комплекс (T, J, K).....	49
3.1.5. Пятый водоносный комплекс (P, N, Q).....	50
3.2. Зональность подземных вод.....	51
3.3. Состав и свойства подземных вод.....	58
4. Гидрогеодинамическая модель Тутуянской мульды.....	62
4.1. Региональные особенности движения подземных вод.....	63
4.1.1. Условия питания и разгрузки подземных вод.....	64
4.1.2. Закономерности формирования фильтрационных потоков.....	66
4.2. Типизация гидрогеологических условий.....	70
4.2.1. Выделение структурных элементов.....	71
4.2.2. Пространственное положение.....	73
4.3. Гидродинамическая схематизация.....	80
4.3.1. Неоднородность области фильтрации.....	81
4.3.2. Граничные и начальные условия.....	90
5. Воздействие добычи угольного метана на подземные воды Тутуянской мульды.....	95
5.1. Закономерности воздействия угольнометановых скважин на поле напоров подземных вод.....	98
5.1.1. Модель формирования водопритока к угольнометановой скважине.....	99
5.1.2. Взаимодействие скважин с гидродинамическими границами.....	101
5.2. Влияние угольнометанового промысла на ресурсы пресных подземных вод.....	107
5.2.1. Модель формирования ресурсов Тутуянского месторождения.....	107
5.2.2. Оценка потенциала взаимодействия.....	113
Заключение.....	116
Список литературных источников.....	118

Введение

Научно-технический прогресс сопровождается неуклонным ростом энергопотребления, при этом существенную долю источников энергии составляют ископаемые виды топлива: уголь, нефть, газ. В последнее время всё больше внимания уделяется нетрадиционным источникам углеводородов, за счёт которых возможно расширение ресурсной базы энергетического сырья. Одним из наиболее перспективных видов ископаемых углеводородов является метан угольных пластов, прогнозные ресурсы которого на территории Российской Федерации сопоставимы с ресурсами традиционных источников природного газа.

Первый в России проект по добыче угольного метана реализуется в Кузнецком угольном бассейне, благодаря его изученности и инфраструктурной доступности. Здесь уже ведётся опытно-промышленная добыча на Талдинской и Нарыкско-Осташкинской площадях, планируется освоение ресурсов угольного метана на площади Тутуянской мульды, геологической структуры в юго-восточной части бассейна (рис.1). Тутуясская мульда характеризуется уникальными гидрогеологическими условиями, благодаря которым в районе формируются крупные запасы пресных подземных вод высокого качества. На площади структуры разведаны месторождения подземных вод регионального значения. В связи с перспективой добыча метана из угольных пластов возникает проблема сохранения запасов и качества пресных подземных вод.

Актуальность диссертационного исследования обусловлена тем, что промышленная добыча метана из угольных пластов оказывает существенное воздействие на поле напоров подземных вод в регионе газодобычи, при этом закономерности развития нарушенного режима фильтрации и влияние промысла на пресные подземные воды Тутуянской мульды не определены. Вместе с тем, региональная изменчивость условий движения подземных вод ограничивает применимость принципа аналогий при оценке гидрогеодинамических условий реализации угольнометанового промысла в различных районах.

Существенный вклад в изучение подземных вод Кузнецкого бассейна внесли П.И. Бутов, М.А. Кучин, Г.М. Рогов, Г.А. Плевако, Ю.Н. Акуленко, В.Д. Покровский, В.К. Попов, Ю.В. Макушин, Н.М. Рассказов, С.Л. Шварцев. В последние годы изучением гидрогеологических условий бассейна занимались О.Е. Лепокурова, Е.В. Домрочева, В.П. Дегтярёв и другие учёные.

В работах исследователей Кузбасса рассмотрены закономерности формирования фильтрационных потоков и состава подземных вод региона. Отдельные труды посвящены исследованию вопросов отработки месторождений угля в сложных гидрогеологических условиях, а также проблемам использования подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения и оценке защищённости подземных вод от загрязнения и истощения.

Объектом исследования является природно-техническая гидрогеологическая система, охватывающая площадь Тутуянской мульды и её палеозойское обрамление. **Предмет исследования** – формирование водопритока к угольным и водозаборным скважинам, влияние эксплуатационного водоотбора на поле напоров подземных вод.

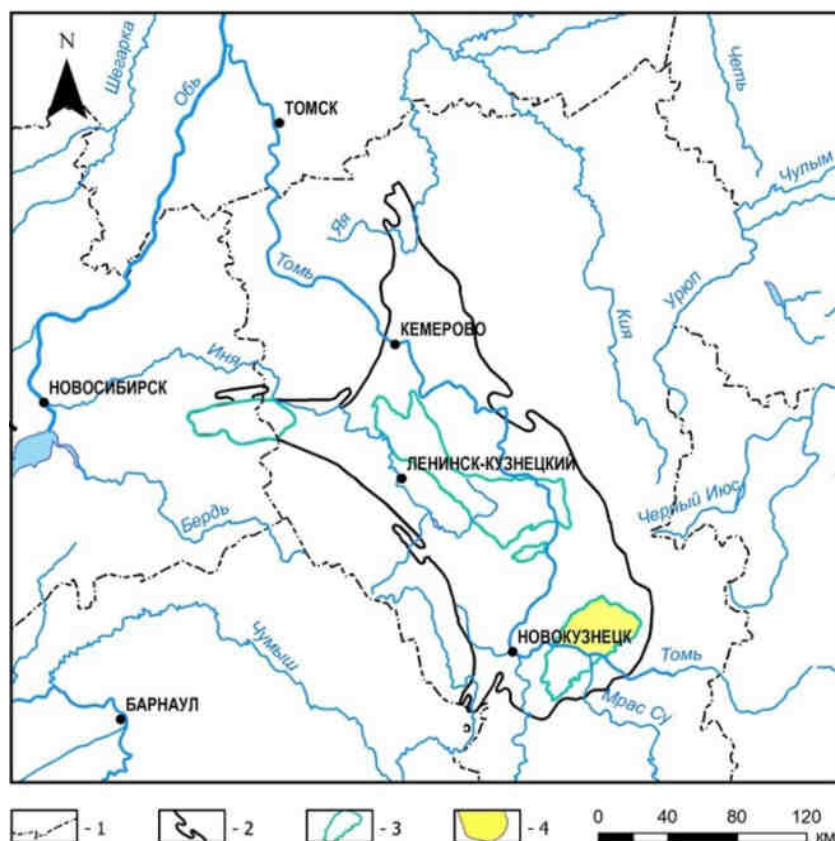


Рисунок 1. Схема расположения района исследований.

- 1 – административные границы субъектов РФ;
- 2 – контур Кузнецкого угольного бассейна;
- 3 – крупнейшие синклинали бассейна;
- 4 – район исследований (Тутуянская мульда).

Цель исследования – установить формы и масштабы влияния добычи метана из угольных пластов на подземные воды Тутуянской мульды, в частности на месторождения подземных вод.

В соответствии с поставленной целью, решались следующие **задачи**:

1. Изучить данные об условиях, определяющих характер водообмена в недрах района от дневной поверхности до подошвы угленосной толщи.
2. Проанализировать закономерности распределения проницаемости пород, выполнить геофильтрационную схематизацию объекта исследований.
3. Построить модели нарушенного режима фильтрации и выявить закономерности формирования водопритока к угольнометановым скважинам.
4. Определить потенциал влияния угольнометанового промысла на подземную гидросферу региона, в частности на месторождения подземных вод.

Научная новизна работы:

1. Впервые осуществлена прогнозная оценка формирования нарушенного режима фильтрации при эксплуатации угольнометановых скважин в районе Тутуянской мульды. Определены закономерности влияния добычи угольного метана на подземную гидросферу района.
2. Разработана геофильтрационная схема, учитывающая гидрогеодинамические условия южной провинции Кузнецкого бассейна. Схематизация охватывает все актуальные элементы гидрогеодинамической структуры от глубокозалегающих угленосных толщ до водных объектов на земной поверхности.
3. Построены гидрогеологические модели работы угольнометановых скважин и водозабора Тутуянского месторождения подземных вод. Выявлен характер влияния эксплуатации скважин на напорное гидродинамическое поле.
4. Определены принципы неконфликтного недропользования для обеспечения сохранности запасов пресных подземных вод в процессе добычи метана из угольных пластов.

Теоретическая значимость. Построены численные модели нарушенного режима фильтрации при эксплуатации угольнометановых скважин, демонстрирующие гидравлическую обособленность коллекторов подземных вод зон замедленного и активного водообмена. Показано определяющее влияние закономерной фильтрационной неоднородности угленосных отложений Кузбасса на структуру фильтрационных потоков в зоне замедленного водообмена.

Практическая значимость. Выводы настоящей работы актуальны для обоснования видов и объёмов гидрогеологических исследований на Тутуянской площади в связи с планируемой добычей метана из угольных пластов.

Разработанную геофильтрационную схему правомерно использовать для структуризации и параметрического наполнения гидрогеологических моделей при решении разнообразных геогидродинамических задач в пределах южного Кузбасса. Материалы диссертационного исследования применялись при составлении производственных отчётов ТФ ИНГГ СО РАН с 2014 по 2016 год.

Защищаемые положения:

1. Гидродинамическая зональность Тутуянской мульды характеризуется вертикальной и плановой фильтрационной неоднородностью пород. В контексте решаемых задач область фильтрации правомерно схематизировать в виде двухслойной толщи, отражающей вертикальную гидродинамическую зональность. При этом структура природно-технической гидрогеологической системы сводится к перечню характерных показателей проницаемости, типовых начальных и граничных условий.

2. Гидрогеологические условия района определяют формирование водопритока к угольнометановым скважинам за счёт естественных запасов подземных вод зоны замедленного водообмена в интервале глубин 500-2000 м. Фильтрационная неоднородность угленосных отложений в зоне замедленного водообмена определяет интенсивное затухание гидродинамических возмущений в разрезе, тем самым способствует локализации влияния угольнометановых скважин.

3. Ресурсы Тутуяского месторождения пресных подземных вод формируются на всей площади водосборного бассейна реки Тутуяс, следовательно, в процессе развертывания и эксплуатации угольнометанового промысла на данной площади, необходимо принимать меры по защите природных вод от загрязнения.

Фактический материал и методика исследования.

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечена полнотой рассмотрения данных предшествующих исследований подземных вод Кузбасса, а также применением апробированного научно-методического аппарата. В работе использовались опубликованные данные научных исследований, фондовые материалы, карты и цифровые модели рельефа из официальных источников.

На первом этапе работы проводился сбор и обобщение данных о природных условиях региона и анализ технологических особенностей скважинной добычи метана из угольных пластов. Для определения пространственного положения элементов гидрогеодинамической структуры применялся морфоструктурно-гидрогеологический анализ региональной модели рельефа. В результате разработана геофильтрационная схема объекта исследований.

Второй этап включил в себя постановку модельных экспериментов, в ходе которых решались прогнозные задачи о гидродинамических условиях работы угольнометановых скважин и водозаборов подземных вод. Гидрогеологическое моделирование осуществлялось с помощью вычислительного модуля MODFLOW, реализующего конечно-разностную аппроксимацию уравнения фильтрации.

На заключительном этапе работы выполнена интерпретация результатов моделирования, анализ гидрогеодинамических условий добычи метана из угольных пластов и оценка потенциала влияния данного промысла на подземную гидросферу района, составление карт и схем, описание результатов, формулирование выводов. Картографические материалы оформлены с помощью геоинформационной системы ArcGIS.

Личный вклад автора состоит в сборе и обобщении фактического материала, разработке и оптимизации геофильтрационной схемы объекта исследований, в проведении модельных экспериментов и анализе их результатов. В ходе работы над диссертацией автор неоднократно посещал район исследований для сбора данных полевых гидрогеологических опробований, а также участвовал в выполнении хоздоговорных работ, непосредственно связанных с темой диссертационного исследования.

Апробация. Результаты исследований докладывались на тематических научных конференциях в период с 2014 по 2018 годы в Томске, Новосибирске и Санкт-Петербурге. В составе коллектива авторов были подготовлены доклады на Коровинских чтениях в ТПУ в 2014 году и на Роговских чтениях в ТГАСУ в 2015 году. Индивидуальные доклады диссертанта состоялись на международных симпозиумах имени М.А. Усова в ТПУ с 2014 по 2018 годы, Трофимуковских чтениях в НГУ и всероссийской конференции по проблемам гидрогеологии Евразии в ТПУ в 2015 году, а также на международной конференции «Экологические проблемы недропользования» в СПбГУ в 2016 году.

Благодарности. В ходе выполнения диссертационного исследования автор активно консультировался с С.Л. Шварцевым, В.К. Поповым, Е.М. Дутовой, О.Г. Савичевым, Е.В. Домрочевой, О.Е. Лепокуровой, которым выражает благодарность. Автор признателен коллективу кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ТПУ за глубокий интерес к исследованию, коллективу отделения геологии ТПУ за постоянную поддержку. Автор особо благодарен научному руководителю К.И. Кузеванову за ценные наставления и содействие в процессе выполнения исследований.

Глава 1. Характеристика изученности объекта

С целью определения и систематизации оснований, на которых базируется дальнейшая работа, проведён анализ изученности природных условий региона, в котором располагается исследуемый район. Рассмотрение материалов предшествующих исследований выполнялось согласно принципу «от общего к частному», таким образом, спектр внимания охватывает как крупные региональные исследования, которые в той или иной степени затрагивают актуальные вопросы настоящей диссертации, так и материалы изыскательских работ на отдельных участках в пределах исследуемого района и по его периметру (Рисунок 1.1). С целью представления целостной картины, в начале главы приводится описание хода исследований бассейна в хронологическом порядке, заключительная часть посвящена оценке актуального состояния изученности.

Исследования прикладного направления в Кузнецком бассейне напрямую или опосредованно связаны с добычей полезных ископаемых, в первую очередь угля, а также со строительством городской и промышленной инфраструктуры. Поверхностные и подземные воды изучаются для нужд водоснабжения населения, сельских и промышленных предприятий, а также в связи с осушением шахтных и карьерных полей. Изученность природных условий Кузбасса улучшалась по мере освоения региона. При этом, в зависимости от темпов экономического развития и приоритетов исследований, процесс изучения может быть подразделён на несколько этапов:

I. Начальный. Со середины XIX в. до 30-х годов XX в. Связан с заселением и аграрным освоением региона, становлением угледобычи и созданием первых промышленных объектов.

II. Интенсивный. С начала 30-х до ВОВ и с конца 40-х до середины 70-х. Связан с бурным экономическим развитием и индустриализацией страны. Получен большой объём данных, проведены первые научные исследования,

направленные в первую очередь на систематизацию и интерпретацию фактического материала.

III. Техничко-внедренческий. С середины 70-х до конца 80-х. Связан с технологическим прогрессом в области изысканий и добычи. Внедряются наукоёмкие методы гидрогеологических исследований, развивается вычислительная техника и численные методы. Проводятся исследования глубинного строения бассейна.

IV. Научно-исследовательский. С начала XXI в. по настоящее время. В результате научно-технического прогресса возрастает аппаратная оснащённость исследовательских коллективов. Вместе с тем отмечается снижение объёмов изысканий и тенденция к обоснованному замещению дорогостоящих натурных экспериментов модельными исследованиями.

1.1 История геолого-гидрогеологического изучения Кузбасса

Началом целенаправленного изучения природных условий Кузнецкого бассейна следует считать вторую половину XIX века, когда началось активное переселение крестьян и рабочих из центральных районов России [1]. Первым документальным свидетельством об угленосности Кузнецкого бассейна является описание обнажений на реке Иня, выполненное П. Чихачёвым у деревни Мереть в 1845 году. Уже во второй половине XIX в., с целью водоснабжения крестьянских хозяйств началось бурение водозаборных скважин в степных районах Кузбасса, в результате была получена исходная информация о глубине залегания подземных вод и водоотдаче вскрываемых пород. К этому времени относятся и первые документальные сведения о водопритоках в рудники и угольные копи.

Период индустриализации страны в первой половине XX века отметился созданием крупной угольной и металлургической промышленной базы в регионе. Строительство шахт и заводов вызвало необходимость масштабного изучения геологического строения и условий залегания подземных вод. До 1917 года группа геологов под руководством Лутугина Л.И. провела стратиграфические исследования угленосных отложений бассейна. В начале 20-х годов Бутовым П.И.

и Яворским В.И. опубликованы первые сведения [2] о гидрогеологических условиях отдельных угольных районов. Основные выводы авторов сделаны на основании изучения Кольчугинской, Анжерской и Кемеровской копей. Обобщение материалов начального этапа геологического изучения Кузбасса и первое систематическое описание гидрогеологии бассейна выполнено П.И. Бутовым и В.И. Яворским в монографии [3] 1927 года. Сведения раннего изучения бассейна обобщены и опубликованы В.А. Обручевым в 1934 г [4].

Индустриальное развитие сопровождалось приростом населения, а значит увеличением потребности в хозяйственном и бытовом водоснабжении. Для решения задач освоения региона в 30-е годы XX-го столетия создаётся Западно-Сибирское геологическое управление (ЗСГУ), которым осуществлены многочисленные исследовательские работы, собран большой объём данных о природных водах региона. Этой организацией выполнен комплекс работ по изучению гидрогеологических условий шахтных полей, отдельных промплощадок и изыскания источников водоснабжения, в результате которых впервые сформулированы важные выводы о высокой водопроницаемости пород бассейна в зонах тектонических нарушений. В этот период начаты регулярные наблюдения водопритоков в шахты, опробованы коллекторские свойства аллювиальных отложений, проведены первые гидрогеологические исследования юрских отложений бассейна. В 1938 году открыта режимная гидрогеологическая станция. В 1940 году опубликован XVI том серии «Геология СССР» [5], в котором П.И. Бутов достаточно подробно описывает гидрогеологические условия Кузбасса, а М.И. Кучин приводит характеристику инженерно-геологических условий основных промышленных площадок Кемерово, Новокузнецка, Прокопьевска.

В годы Великой Отечественной войны внимание уделялось доразведке и эксплуатации открытых ранее шахтных полей, региональные исследования были приостановлены. Следующий этап интенсивного изучения бассейна начался после 1945 года. Попутно с разведочными работами на уголь проводились гидрогеологические исследования участков Меретский, Грамотеинский,

Красноярский, Моховский, материалы которых приводятся в отчётах по результатам геолого-разведочных работ.

М.И. Кучин, возглавлявший ЗСГУ в этот период, в 1948 году опубликовал монографию о гидрогеологии Кузбасса и окружающих его горных сооружений. Данный труд, наряду с работами П.И. Бутова и В.И. Яворского, хотя и основан на сильно ограниченных данных тех лет, тем не менее послужил основой для дальнейшего изучения бассейна.

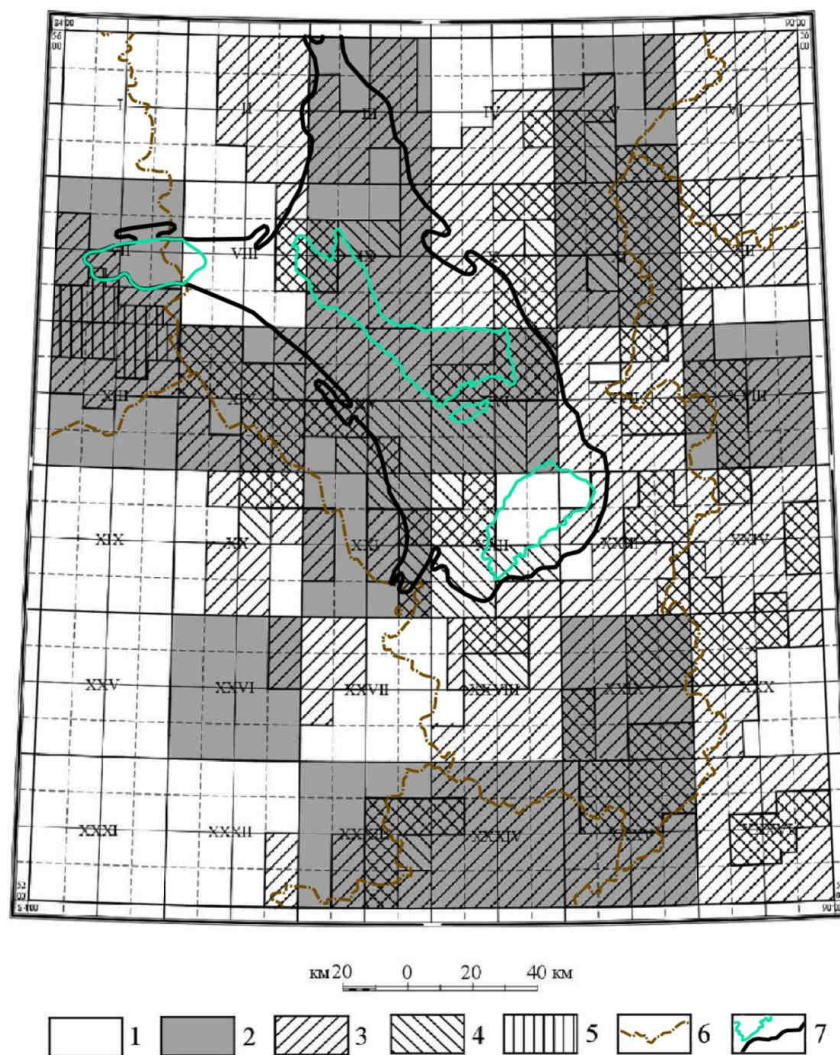


Рисунок 2.1 Геолого-гидрогеологическая изученность в границах листа N-45

1 – геолого-гидрогеологическая съёмка М 1:200000; 2 – геологическое доизучение М 1:200 000; 3 – геолого-съёмочные работы М 1:50 000; 4 – геологическое доизучение М 1:50000; 5 – глубинное геологическое картирование М 1:50 000; 6 – административные границы; 7 – контур Кузнецкого бассейна.

Очередной этап исследований охватывает период с конца 40-х до начала 70-х годов XX-го столетия. Данный период характеризуется интенсивным проведением съёмочных, разведочных, гидрогеологических и инженерно-геологических работ, выполняемых ЗСГУ и трестом «Кузбассуглегеология». На базе этих организаций были созданы специальные Кузбасская инженерно-гидрогеологическая экспедиция и Центральная гидрогеологическая экспедиция. В это время проводились изыскания источников водоснабжения крупных населённых пунктов, промышленных и сельскохозяйственных объектов, изучались условия разработки месторождений полезных ископаемых. Экспедициями выполнен большой объём работ по изучению подземных вод юрских отложений. В результате разведки подземных вод Чусовитино-Бунгарапской депрессии был решён вопрос водоснабжения первой очереди города Ленинск-Кузнецкий. Помимо разведки источников водоснабжения Кузбасская экспедиция выполнила множество специальных гидрогеологических исследований на участках Ленинского месторождения каменных углей со сложными условиями отработки. В этот период изданы работы Т.М. Кобылянского (1957) по условиям отработки углей под долинами рек и тальвегами оврагов; В.В. Пономарёва (1955) по классификации угольных месторождений в зависимости от гидрогеологических условий разработки. В середине 60-х годов впервые проведена работа по районированию территории бассейна по типам режима подземных вод, а так же составлены планы размещения региональной наблюдательной сети, которая позволила начать наблюдения режима подземных вод большинства водоносных зон. В 1968 году Красноярской гидрогеологической партией выполнялись исследования на полях шахт в пределах пойменной части Ленинского месторождения, которые изучали проблему отработки углей под долиной реки Ини.

Начиная с 1960 года, проводилась полистная гидрогеологическая съёмка Кузбасса, которая наряду с маршрутными обследованиями включала систематизацию и обобщение материалов изысканий прежних лет. К настоящему

времени заснята практически вся территория бассейна в масштабе 1:200 000. Ценные данные о геологическом строении и гидрогеологических условиях крупных антиклинальных структур бассейна получены при поисковых работах на нефть и газ. В ходе работ впервые изучены химический состав и условия движения подземных вод глубоких горизонтов. Результаты этих работ опубликованы Е.Е. Беляковой (1954) [6] и М.В. Елизаровской (1955).

Результаты интенсивного изучения подземных вод Кузбасса послужили основой для ряда диссертационных исследований 60-х – начала 70-х годов. Наиболее интересными в этот период представляются работы таких учёных, как Г.А. Плевако, Ю.Н. Акуленко, Д.С. Покровский и Г.М. Рогов. Геннадий Алексеевич Плевако в своей работе [7] (1970) обобщил гидрогеологические материалы по Осиновскому району Кузбасса и исследовал условия отработки угольных пластов под чехлом высокопроницаемых мезозойских отложений [8, 9]. Юрий Николаевич Акуленко собрал материалы о подземных водах аллювиальных отложений реки Томь и исследовал перспективы их использования для водоснабжения [10] (1969). Дмитрий Сергеевич Покровский провёл первое обобщение материалов по гидрогеологии Ерунаковского района Кузбасса, в котором исследовал закономерности формирования и движения подземных вод [11] (1967). Особого внимания заслуживает исследовательская деятельность Геннадия Маркеловича Рогова, который занимался вопросами гидрогеологии Кузбасса начиная с 1955 г. В его работах [12–15] опубликованы основополагающие положения классификации подземных вод Кузнецкой водонапорной системы, гидродинамической и гидрогеохимической зональности, истории палеогидрогеологического развития и формирования основных генетических типов подземных вод.

Важным промежуточным итогом изучения Кузбасса стало издание в 1972 году XVII тома серии книг Гидрогеология СССР [16], обобщающего все собранные к тому времени материалы изучения подземных вод Кемеровской области и Алтайского края. В этом издании изложена история формирования

подземной гидросферы региона, подробнейшим образом описаны коллекторские свойства всех стратиграфических толщ и магматических комплексов, приведены выявленные закономерности формирования запасов и состава подземных вод, как для выделенных гидрогеологических провинций, так и для всего региона в целом. Авторами впервые предпринята попытка реконструкции палеогидрогеологических условий, даны рекомендации по эксплуатации месторождений минеральных вод и затронуты вопросы охраны подземной гидросферы. Над изданием трудились сотрудники Западно-Сибирского геологического управления Ю.Н. Акуленко, П.В. Алексеев, В.В. Артамохина, М.А. Кузнецова, В.Н. Одоев, О.В. Постникова, А.Г. Савин, Е.А. Соцкова, О.В. Сухопольский и другие. Отдельные разделы написали учёные Томского политехнического института Г.А. Плевако, Д.С. Покровский, Г.М. Рогов, а также Новосибирского энергетического института С.Г. Бейром, В.С. Кусковский. Редакторскую работу выполнили М.А. Кузнецова и О.В. Постникова.

С начала 70-х годов наблюдается качественное изменение направленности гидрогеологических исследований в Кузбассе. Ввиду накопления обширного фактического материала и наличия крупных обобщающих работ, учёные получают возможность для исследования фундаментальных проблем гидрогеологии в условиях сложной водонапорной системы Кузнецкого бассейна. В 1975 году опубликованы результаты диссертационного исследования В.К. Попова [17]. Под руководством Г.М. Рогова и Г.А. Плевако, Виктор Константинович исследовал особенности формирования подземных вод угленосных образований. Проведённые исследования показали, что ведущая роль в формировании химического состава подземных вод угленосных отложений в зоне гипергенеза принадлежит процессам растворения и гидролиза алюмосиликатных минералов, а скорость этих процессов зависит от интенсивности водообмена. Результаты работы позволяют не только более объективно описать процесс формирования современных гидрогеологических условий, но и приводят основания для прогноза их изменений во времени.

В 1985 году выходит совместная монография Г.М. Рогова и В.К. Попова, в которой рассматриваются вопросы гидрогеологической эволюции и катагенетических преобразований пород в течение геологического формирования бассейна [14]. Издание отражает результаты многолетних исследований авторов.

Развитие вычислительной техники и внедрение численного моделирования в методологию гидрогеологических исследований обусловили дальнейшее направления работы учёных. В 1983 году защищает диссертацию Ю.В. Макушин [18], который под руководством Удодова П.А. и Покровского Д.С. занимался исследованием закономерностей формирования структуры фильтрационных потоков и применил оригинальный подход к гидрогеологической схематизации на основе морфоструктурно-гидрогеологического анализа, разрабатываемого Лукиным А.А. В своей работе Юрий Васильевич Макушин впервые обосновал количественную связь между структурой фильтрационного потока и рельефом дневной поверхности, которая отчётливо проявляется в зоне экзогенной трещиноватости пород Кузбасса. Построенная им модель распределения фильтрационных параметров угленосных толщ на основе кусочно-однородного районирования позволила повысить качество прогнозов дренирующего влияния угольных разрезов на месторождения подземных вод.

В 80-е годы продолжается доизучение геолого-гидрогеологических условий бассейна. В этот период наиболее значимые проекты – проходка и исследования глубоких скважин на Томской и Распадской площадях.

С 90-х годов прошлого века исследования в Кузнецком бассейне проводит коллектив томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики сибирского отделения российской академии наук (ТФ ИНГГ СО РАН). Работы проводятся учёными С.Л. Шварцевым, Н.М. Рассказовым, В.С. Кусковским, Е.В. Домрочевой, О.Е. Лепокуровой и многими другими. В ходе этих работ создана система базовых точек наблюдения подземных вод. Особенность исследований ТФ ИНГГ заключается в комплексном характере и исключительно широком охвате изучаемых параметров, таких как: макрокомпоненты, биогенные и

органические вещества, микроэлементы, физико-химические характеристики и микробиологический состав подземных вод. Результаты современных исследований нашли отражение в ряде диссертационных работ [19–21] и научных публикациях [22–28].

Начиная с 2002 года, ТФ ИНГГ СО РАН совместно с ОАО «Газром» проводят в Кузбассе комплексные гидрогеологические исследования в связи с развитием в регионе инновационного промысла по добыче метана из угольных пластов. В рамках этих работ впервые проводятся масштабные опробования глубоко залегающих водоносных структур, появляются новые сведения о коллекторских свойствах пород на значительных глубинах, определяются химический и газовый состав подземных вод глубоких горизонтов. Получаемые новые данные позволяют уточнить и дополнить имеющиеся сведения о подземных водах Кузнецкого бассейна, что способствует как дальнейшему росту изученности региона, так и развитию гидрогеологической науки в целом.

1.2 Исследования в связи с добычей угольного метана

На рубеже XX-XXI веков в регионах, располагающих залежами угля, начали уделять внимание проблеме освоения огромных ресурсов метана угольных пластов. Перспективность данного газа обусловлена его доступностью, относительно низкой стоимостью и экологичностью по сравнению с прочими нетрадиционными источниками горючих газов. В настоящее время Кузнецкий бассейн, который является первым в России по объёмам добываемого угля, рассматривается также в качестве перспективной сырьевой базы для добычи сорбированного в угольных пластах метана. Это вызвано тем, что прогнозируемые ресурсы угольного метана в бассейне превышают 13 трлн. метров кубических на площади в 21 тыс. квадратных километров, а их плотность достигает 3 млрд. кубических метров на квадратный километр [29].

Основная особенность метана угольных пластов заключается в том, что огромные запасы этого газа находятся в массиве угля в сорбированном состоянии и для его эффективной добычи необходимо создать значительный отрицательный

перепад давления в пласте, чтобы спровоцировать переход газа в свободное состояние. Как правило, данный процесс происходит при вскрытии угольного пласта шахтным стволом. Освободившийся метан поступает в шахты, где в сочетании с воздухом образует взрывоопасную смесь. На протяжении всей истории горного дела угольный метан считался вредным фактором, влияющим на безопасность подземных работ. В то же время метан — полезный источник энергии, который можно и нужно использовать в народном хозяйстве.

Наиболее простым и эффективным способом снижения давления в угольном пласте для извлечения метана является откачка воды. Для этого пласт вскрывается буровой скважиной, по конструкции и принципу работы схожей с водозаборной. Из скважины начинают откачивать воду, в пласте создаётся градиент давления, под влиянием которого сорбированный метан переходит в свободное состояние и устремляется по стволу скважины на поверхность. Благодаря данным особенностям добычи, развитие углеметанового промысла сопровождается широким комплексом гидрогеологических исследований, которые часто затрагивают площади и глубины, не изученные ранее.

Работы, связанные с добычей метана угольных пластов в Кузбассе начались в конце 90-х годов, гидрогеологические исследования ведутся на территории Томь-Усинского и Ерунаковского промышленных районов. На перспективных площадях проводится бурение разведочных скважин, осуществляются гидродинамические опробования глубоких горизонтов, отбираются пробы воды как для химических анализов. В профессиональной среде ведутся активные дискуссии о генезисе угольного метана, совершенствуются технологии его извлечения. Уже пробурены первые скважины с горизонтальными участками в продуктивном пласте по технологии, направленной на увеличение выхода газа.

На полях действующих скважин Нарыкско-Осташкинской и Талдинской площадей ведутся режимные наблюдения за уровнями подземных вод, проводятся регулярные опробования химического, газового, микробиологического, изотопного состава подземных вод метаноугольных месторождений и

перспективных участков. Значительная часть исследований осуществляется при непосредственном участии студентов, аспирантов и сотрудников Томского политехнического университета.

1.3 Современная изученность Подобасско-Тутуянской депрессии

Большой объём геологических и гидрогеологических исследований выполнен по периметру Подобасско-Тутуянской депрессии, на участках залегания ценных угольных пластов близко к поверхности. На площади самой структуры (рис. 1.2) проведён сравнительно небольшой объём изысканий, что объясняется глубоким залеганием здесь перспективных угленосных толщ. Пермские угленосные отложения детально исследованы на участках Ольжерасского и Распадского месторождений угля, Томской, Мрасской, Осинниковской площадях.

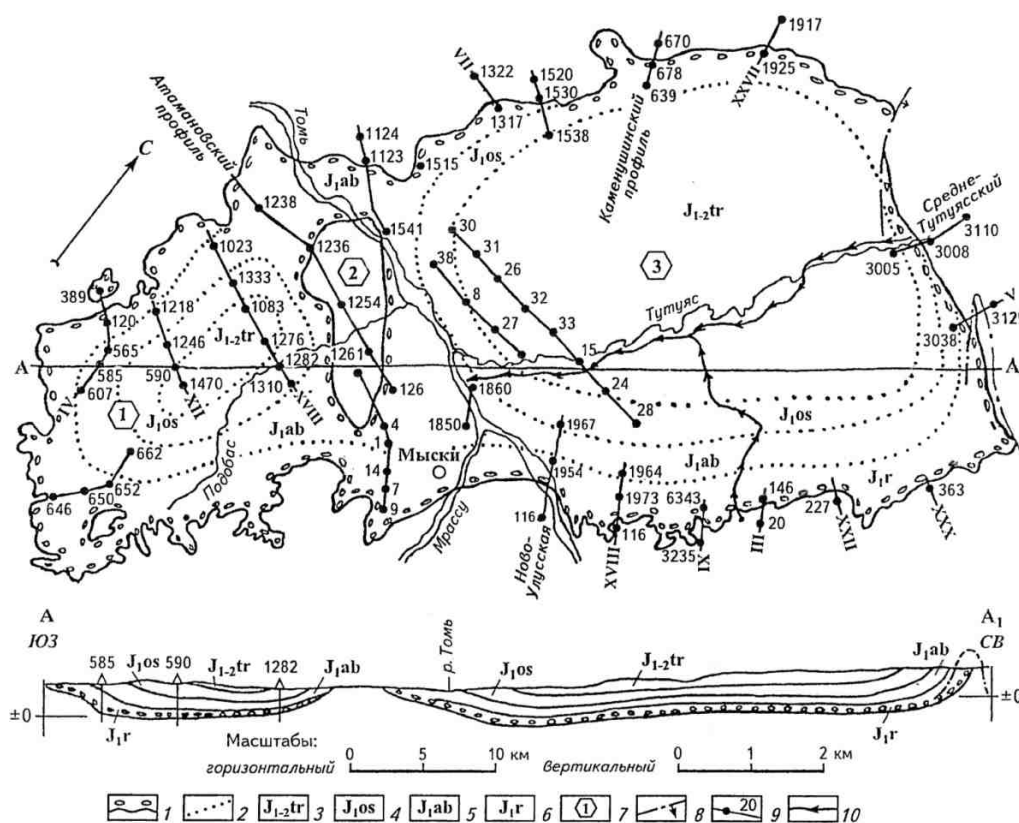


Рисунок 1.3. Схема геологической изученности Подобасско-Тутуянской депрессии (составили А.В. Климов, С.К. Батяева, А.З. Юзвицкий) [30].

1 – контур распространения юрских отложений; 2 – стратиграфические границы; 3-6 – свиты; 7 – складчатые структуры: Подобасская (1) и Тутуясская (3) синклинали, Тарбаганское поднятие (2); 8 – разрывные нарушения; 9 – разведочные профили и номера скважин; 10 – сейсмические профили.

Гидрогеологические исследования в районе были направлены на поиск и разведку месторождений подземных вод, вследствие чего изучались преимущественно участки речных долин вблизи крупных градопромышленных агломераций, а глубина изучения ограничена зоной активного водообмена. Для нужд водоснабжения города Новокузнецка и Мысковского промышленного узла в период с 50-х по 70-е годы проведена серия работ, площадной охват которых показан на рисунке 1.3. В ходе гидрогеологической съёмки Подобасско-Тутуянской депрессии, установлена повышенная проницаемость юрских отложений, особенно выраженная в долинах рек. Также выявлена совершенная гидравлическая связь мезозойских и современных аллювиальных отложений. Результаты исследований отражены в отчётах [31] и использованы при составлении гидрогеологических карт района [32].

Данные о подземных водах пермских угленосных отложений и гидрогеологических условиях зоны замедленного водообмена получены в ходе работ по изучению условий добычи угля. Начиная с 1945 года, в Томь-Усинском и Осинниковском районах интенсивно ведутся съёмочные и геологоразведочные работы. Наиболее детально изучены участки, приуроченные к долинам рек Томь, Уса и Ольжерас. Профили разведочных скважин Томь-Усинского района захватывают восточную периферию Подобасско-Тутуянской депрессии. На Ольжерасском и Осинновском месторождениях изучались условия отработки углей под высокопроницаемыми юрскими отложениями, результаты изложены в производственных отчётах и нашли отражение в диссертационном исследовании Плевако Г.А. [7]. В Осинновском районе также описан опыт эксплуатации подземных вод юрских отложений на поле действующей шахты Капитальная-II.

Вся территория покрыта регулярной сеткой гидрогеологических карт в масштабе 1:200 000, имеются и крупномасштабные врезки специально доизученных участков (рисунок 1.3). Расположение поисково-разведочных скважин неравномерно и на площади Тутуянской мульды связано с площадями разведки подземных вод.

В 50-е годы, в ходе поисково-разведочных работ на нефть, на Абашевской площади, непосредственно примыкающей к западной границе района исследований, пробурено несколько скважин глубиной 1451-2937 м. Детального гидрогеологического изучения скважин не проводилось, по техническим причинам они были ликвидированы. В результате нефтепоисковых работ получены прямые данные о геологическом строении бассейна до глубины около 3 км, впервые опробован химический и газовый состав подземных вод из глубоко залегающих толщ. Перспективные нефтепроявления при этом не выявлены.

В период с 1984 по 89 гг. в районе города Мыски пробурена «Томская глубокая» скважина глубиной 2542 м, в которой выполнены поинтервальные гидродинамические опробования. Также по стволу скважины получены данные об изменении пористости пород. Параллельно, на смежном участке Мрасского района, осуществлялась проходка скважины «Распадская глубокая-2» до глубины 2337 м. Скважины «Томская» имеет номер 8790, а «Распадская-2» – 10000.

На основании рассмотренных источников сформулирован вывод о весьма неравномерной изученности объекта по площади и глубине. При этом разносторонняя и достаточно детальная изученность Кузнецкого бассейна в целом, знание закономерностей его строения и истории формирования, позволяет с некоторыми оговорками экстраполировать данные гидрогеологических условий в пределах типовых структур.

Изучение глубокозалегающих угленосных отложений Тутуянской мульды впервые актуализовано в связи с их перспективностью на угольный метан. Гидрогеологическое моделирование и сопутствующий анализ природных условий для данного района ранее не проводились. Закономерности изменения фильтрационных свойств пород по площади и с глубиной в настоящее время остаются дискуссионными.

Глава 2. Природные условия

Интегральной характеристикой баланса поверхностных и подземных вод рассматриваемой территории является водообмен, который в свою очередь определяется совокупным действием широкого спектра природных факторов. Для всестороннего исследования гидрогеологических аспектов угольнометанового промысла необходимо знание условий водообмена всех компонентов природы, затрагиваемых данным видом хозяйственной деятельности. В этой связи, на первом этапе настоящей работы проводится анализ факторов, определяющих условия водообмена в районе планируемой добычи метана из угольных пластов.

Для удобства дальнейшей работы факторы целесообразно распределить по генетическому признаку в следующие группы:

1. Физико-географические. Определяют условия атмосферного питания и разгрузки природных вод. Обусловлены климатическими особенностями, формой рельефа и видом ландшафта.

2. Геологические. Определяют литологическую неоднородность разреза, являются основой для гидрогеологической стратификации. Обусловлены особенностями накопления и преобразования отложений в процессе формирования бассейна.

3. Гидрогеологические. Определяют пространственную изменчивость коллекторских свойств пород и закономерности формирования фильтрационного потока. Обусловлены вторичными преобразованиями пустотного пространства пород в процессе взаимодействия с подземными водами.

Таким образом, взаимообусловленное действие нескольких групп факторов формируют относительно сложные условия водообмена исследуемой территории. В этой связи, перед обоснованием гидрогеологической модели района, проводится детальное рассмотрение ведущих факторов водообмена, включая анализ характеристик и степени влияния каждого из них.

2.1 Физико-географический очерк

Современные физико-географические условия определяют интенсивность атмосферных осадков и испарения, формирование поверхностного стока и режим питания подземных вод. Следовательно, обеспечивают водный баланс региона. В числе наиболее существенных физико-географических факторов рассматриваются климат, орография, гидрография и ландшафт района исследований.

2.1.1 Климат

Климатические условия Кузбасса определяются его положением в центральной части континента Евразия. Равноудалённое положение относительно океанов обуславливает резко континентальный климат с продолжительной холодной зимой и коротким, но жарким летом. Горное обрамление бассейна создаёт препятствие на пути воздушных масс, обеспечивая высокую интенсивность атмосферных осадков в юго-восточной части.

Средняя годовая температура воздуха около 0°C , при крайних значениях $+35$ в июле и -47 в январе. Средние температуры июля $+18...+20$, в январе $-18...-20^{\circ}\text{C}$. Суточный перепад температуры достигает 20 градусов.

Интенсивность атмосферных осадков на площади бассейна возрастает в восточном направлении. Среднегодовое количество осадков по данным метеостанции города Междуреченск, достигает 750 мм [33]. В безморозный период выпадает до 70% от общего количества осадков. Мощный слой снега в районе исследований (около 2 м), обеспечивает незначительную глубину сезонного промерзания грунта до 0,5 м. При этом, после формирования снежного покрова происходит частичное и даже полное оттаивание грунта вследствие интенсивного теплового потока из недр. В результате инфильтрационное питание подземных вод постепенно увеличивается ещё до начала весеннего снеготаяния, чем обусловлены ранние паводки. В целом, избыточно-увлажнённый климат обеспечивает благоприятные условия для питания и разгрузки подземных вод, что выражено в развитии речной сети и высокой эрозионной расчленённости рельефа. На питание подземных вод в год приходится около 100 мм слоя осадков.

2.1.2 Орография

Горные системы Салаир и Кузнецкий Алатау, протяжённые меридианально вдоль границ котловины Кузнецкого бассейна, создают препятствия на пути атлантических воздушных масс, тем самым определяя особенности климата. Геоморфологические условия бассейна разнообразны, выделяется несколько ландшафтных областей. Район исследований лежит в области расчленённого низкогорного рельефа, на площади Тутуянской мульды перепад высот между водоразделами и водотоками достигает 400 метров в диапазоне абсолютной высоты от 180 до 580 м (Рисунок 2.1). Водораздельные площади широкие, с ломаным профилем. Склоны в основном пологие, расчленены ложбинами и логами. Общий уклон поверхности направлен на северо-запад, от предгорий Кузнецкого Алатау в сторону долины реки Томь. В этом же направлении вытянуты главные водоразделы.

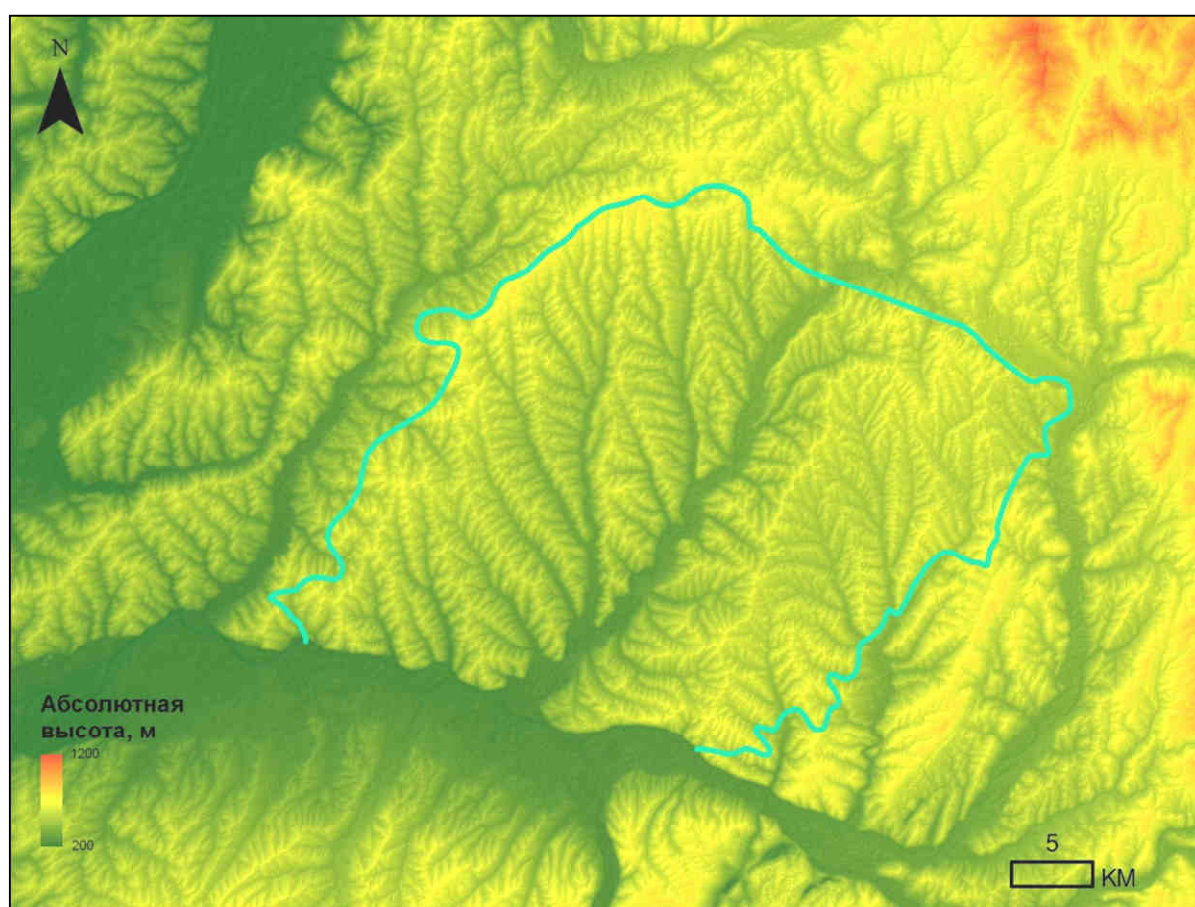


Рисунок 2.1. Модель рельефа района исследований (по данным SRTM [34]).

Выделена площадь распространения мезозойских отложений.

Долины рек нередко заложены субпараллельно горным обрамлениям бассейна, что свидетельствует об их тектонической природе. Долины имеют узкий V-образный поперечный профиль в верховьях, корытообразный – в среднем течении и резко асимметричный в низовьях.

Форма рельефа в совокупности с особенностями ландшафта формируют весьма благоприятные условия для питания и разгрузки подземных вод.

2.1.3 Гидрография

Основной дреной региона является река Томь, которая определяет южную границу исследуемого района. Долина Томи резко асимметрична и расширяется в юго-западном направлении от 1,5 до 5 км. Правый берег, как правило, обрывистый. Река Томь в верховьях характеризуется горным режимом с резкими колебаниями расхода, которые коррелируют с периодами обильных осадков и снеготаяния. В пределах района исследований уклон ложа Томи выполаживается и течение приобретает равнинный характер.

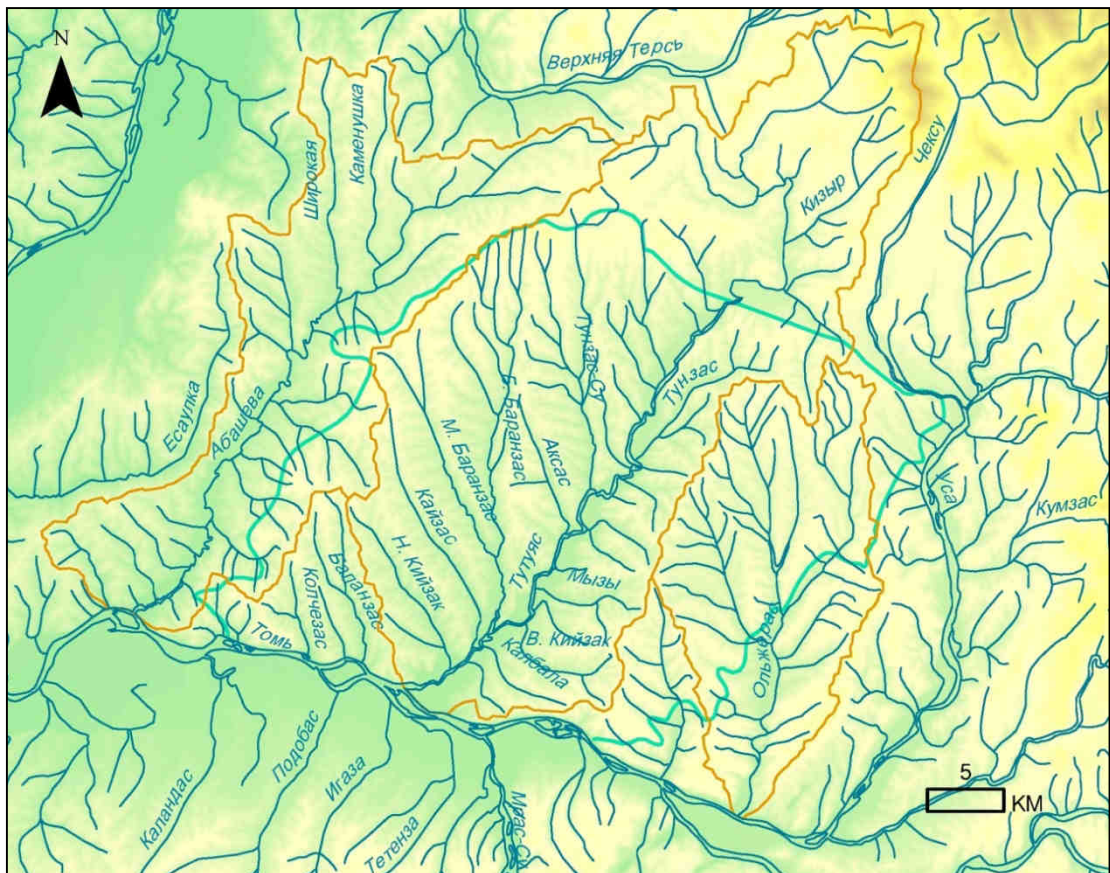


Рисунок 2.2. Карта водных объектов района исследований.

Показаны водораздельные линии основных речных бассейнов.

В русле реки образовано большое число островов. Наиболее полно режим Томи изучен на гидрометрическом посту в г. Новокузнецк [35] и характеризуется средним многолетним расходом $645 \text{ м}^3/\text{сут}$ при максимуме 9000 и минимуме $25 \text{ м}^3/\text{сут}$. Максимальная амплитуда колебания уровня за период наблюдений с 1894 по 1996 г. составила 7,3 м, средний многолетний модуль стока – 22,8 л/сек.

Площадь Тутуянской мульды принадлежит бассейнам правобережных притоков Томи и Усы: Тутуяса, Ольжераса, Абашевы, Баланзаса, Колчезаса и мелких рек. Около 2/3 площади дренируется бассейном реки Тутуяс.

Река Тутуяс берёт начало за пределами района исследований, на высоте более 600 метров над уровнем моря, в отрогах Кузнецкого Алатау. В 18 км ниже своего истока Тутуяс пересекает северную границу района исследований. Длина реки достигает 75 км, бассейн площадью 883 км^2 сформирован многочисленными притоками. В нижнем и среднем течении долина Тутуяса расширяется до 3 км, становится заболоченной с большим числом стариц. Русло реки в нижнем течении сильно меандрирует (Рисунок 2.3).



Рисунок 2.3. Аэрофотоснимок долины реки Тутуяс (Фото С.И. Рудомётова) [36].

Режим реки Тутуяс изучался периодически в ходе работ по изысканию резервных источников водоснабжения новокузнецкой агломерации [31]. Среднегодовой расход реки в посёлке Тутуяс, приведённый к двадцатилетнему ряду по аналогии с рекой Уса [СНиП 2.01.14-83], составил $20,9 \text{ м}^3/\text{сут}$ при

максимуме 200 и минимуме 0,6 м³/сут. Среднегодовой модуль стока составляет 34,5 л/сек с км², амплитуда колебаний уровня воды в пределах 2,5 м.

Тутуяс имеет множество притоков, среди которых преобладают правобережные, что обуславливает резко асимметричную форму бассейна. Главными притоками Тутуяса являются реки Тунзас-Су, Баранзас, Кайзас, Нижний Кийзак, Тунзас, Мызы, Верхний Кийзак, Большая Калбала. Большая часть притоков ориентированы под острым углом относительно долины Тутуяса, что определяет характерные черты бассейна. Реки, впадающие в Тутуяс, в свою очередь принимают многочисленные притоки меньшего порядка.

Тектоническая природа долин вкупе с глубоким эрозионным врезом водотоков определяет условия для совершенной гидравлической связи подземных и поверхностных вод. Сопротивление русловых отложений может достигать существенной величины только в низовьях крупных притоков Томи, где небольшой уклон русла способствует заболачиванию долины.

2.1.4 Ландшафт

На площади Кузнецкого бассейна встречается несколько ландшафтных зон от засушливой степи до избыточно увлажнённых предгорий. Район исследований, расположенный вблизи сопряжения бассейна с горными системами Шории и Кузнецкого Алатау, относится к области расчленённого низкогорья с избыточным увлажнением. Большое количество атмосферных осадков обуславливает здесь наличие плотной речной сети и интенсивное развитие растительности.

Площадь Тутуяской мульды полностью покрыта черневой тайгой, что хорошо видно на спутниковом снимке (Рисунок 2.4). Естественный природный ландшафт района нарушает только линия электропередач, немногочисленные грунтовые дороги и компактные населённые пункты в нижнем течении реки Тутуяс. Масштабная хозяйственная деятельность на правом берегу Томи не ведётся, что определяет уникальные для Кузнецкого бассейна экологические условия и обуславливает высокое рекреационное значение территории.

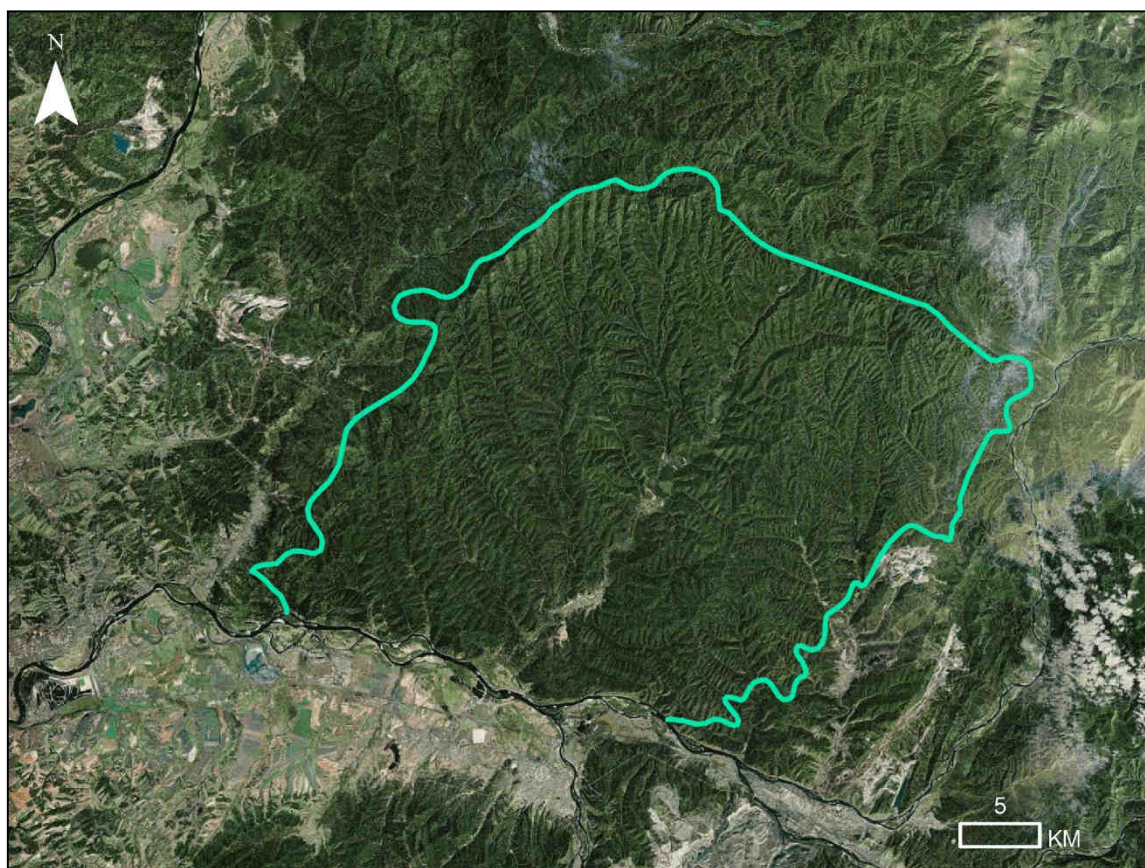


Рисунок 2.4. Спутниковый снимок района исследований [37].

Таёжный ландшафт, с точки зрения условий водообмена, затрудняет поверхностный сток, что способствует интенсификации инфильтрационного питания подземных вод.

2.2 Геологическое строение

Геологическое строение и тектонические условия, определяющие основу неоднородности недр, обуславливают закономерности формирования фильтрационных потоков подземных вод. В ходе анализа геологического строения района, собраны актуальные данные о его литологическом строении, стратиграфическом делении, тектонических условиях и геологической истории. Охарактеризована угленосность разреза.

Кузнецкий бассейн представляет собой межгорный прогиб, образованный в среднем палеозое и является крупнейшим синклинорием Алтае-Саянской складчатой области. В строении бассейна выделяются три структурных этажа: досреднедевонский фундамент, палеозойская угленосная моласса и локально

распространённые мезозойские континентальные отложения. В контексте проблематики данной работы целесообразно ограничиться рассмотрением верхнепалеозойской угленосной формации, вышележащих мезозойских и современных отложений.

2.2.1 Стратиграфия и литология

При написании данного раздела за основу приняты «Решения Всесоюзного совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем» [38], материалы которого дополнены научными данными, опубликованными в последующие годы [39, 40].

Перспективными на угольный метан являются угленосные отложения балахонской и кольчугинской серий, формирование которых началось в каменноугольном и завершилось в пермском периоде.

Каменноугольная система

Отложения каменноугольной системы в районе представлены полным разрезом нижнего отдела, а также нижнебалахонской подсерией карбона.

Морские карбонатно-терригенные осадки нижнего карбона изучены на окраинах Кузнецкого бассейна, где они выходят на дневную поверхность в предгорьях Кузнецкого Алатау. Отложения карбона с небольшим перерывом перекрывают красноцветные осадки девонского периода. Отложения нижнего отдела карбона представлены толщей известняков (200-250 м), которая согласно перекрыта зеленовато-серыми песчаниками и сланцами, песчанистыми известняками, переходящими в известковистые алевролиты. В основании залегает пачка вулканогенно-осадочных пород. Суммарная мощность нижнего отдела достигает 400 м, отложения не вмещают угольных пластов.

Средний и верхний отделы каменноугольной системы принадлежат отложениям балахонской серии. Отложения серии залегают на морских карбонатно-терригенных осадках нижнего карбона и разделяются на острогскую ($C_{1-2} os$), нижнебалахонскую ($C_{2-3} bl$) и верхнебалахонскую ($P_1 bl$) подсерии, которые в свою очередь подразделяются на свиты.

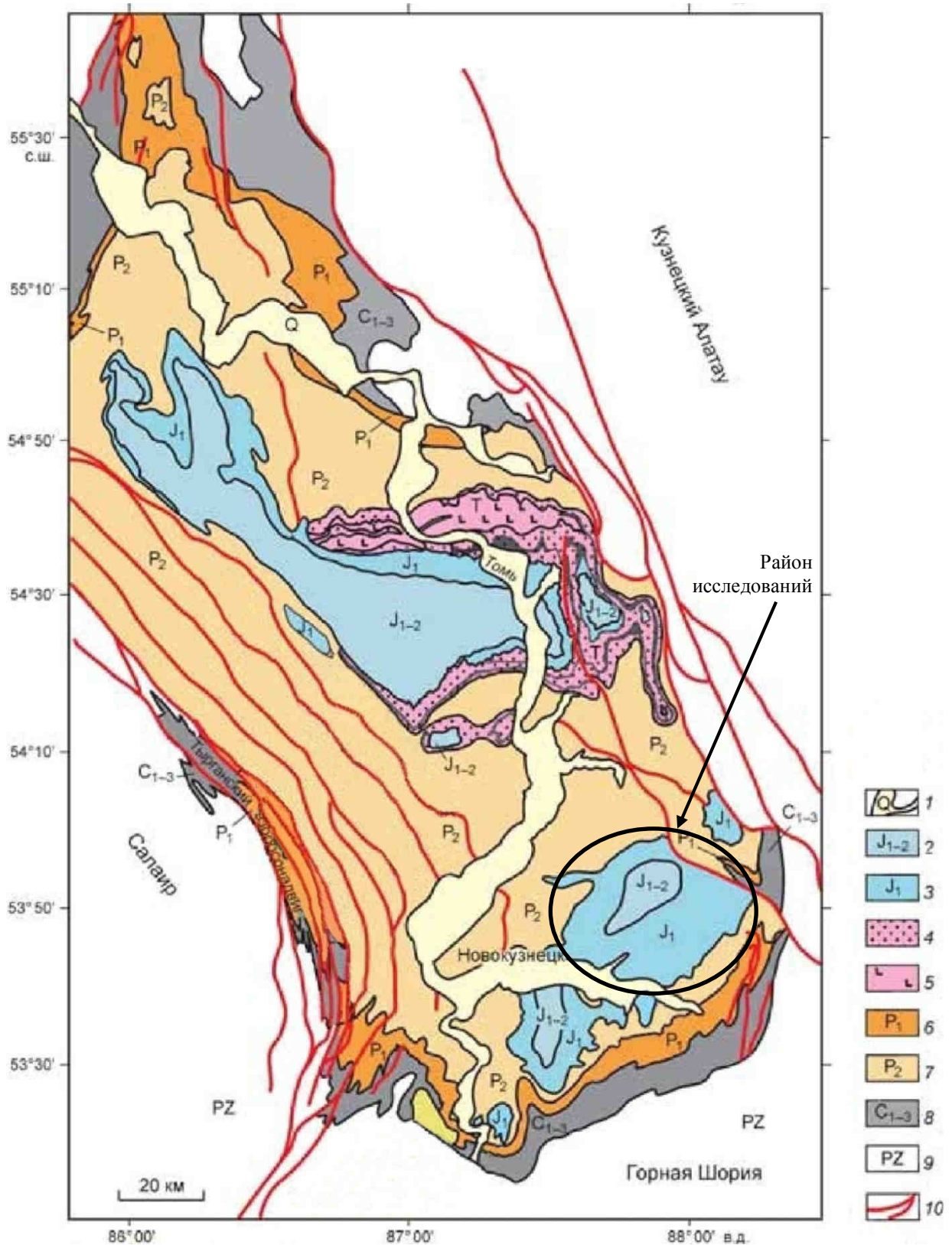


Рисунок 2.5. Геологическая карта Кузнецкого бассейна [41]

1 – аллювиальные отложения; 2, 3 – юрские терригенные отложения; 4 – вулканогенно-осадочные и 5 – магматические породы триаса; 6, 7 – пермские угленосные отложения; 8 – каменноугольные отложения; 9 – породы палеозоя; 10 – крупные тектонические нарушения.

Породы острогской подсерии изучены по представительным обнажениям, которые встречаются на периферии бассейна. Литологическое строение подсерии представлено переслаиванием пачек песчаников (50%) и аргиллитов (до 32%). Подчиненное положение в разрезе занимают алевролиты, конгломераты и редкие прослои угля. Мощность подсерии в районе исследований достигает 270 м.

Отложения нижнебалахонской подсерии обнажаются в полосе вдоль юго-восточной окраины бассейна, а также образуют блок в ядре Терсинской антиклинали. Большую часть разреза занимают мощные слои крупно- и среднезернистых карбонатизированных песчаников. Угленосность подсерии весьма низкая (в среднем 1,5%) и имеет тенденцию к затуханию с глубиной. Мощность отложений до 850 м.

Пермская система. Нижний отдел.

Верхнебалахонская подсерия

Отложения верхнебалахонской подсерии выходят на поверхность в узкой полосе на юго-востоке Томь-Усинского района и в Терсинской антиклинали. В отличие от нижнебалахонских, отложения подсерии характеризуются существенно большей угленосностью (до 6,5%). Верхнебалахонская подсерия подразделяется на промежуточную ($P_1 \text{ pr}$), ишановскую ($P_1 \text{ is}$), и кемеровскую ($P_1 \text{ kr}$), свиты. Мощность подсерии от периферии бассейна к оси Тутуянской мульды изменяется от 850 до 1050 м.

Промежуточная свита ($P_1 \text{ pr}$) перекрывает отложения нижнебалахонской серии без заметного несогласия. В основании разреза свиты преобладают песчаники (пачки до 50 м), в которых встречаются прослои алевролитов с пропластками углей, не превышающих 1 м. Угленосность свиты находится в пределах от 3 до 5%. Мощность достигает 325 м.

Ишановская свита ($P_1 \text{ is}$) согласно залегает на отложениях промежуточной свиты. В разрезе свиты доминируют песчаники, пачки которых достигают мощности 70 м. С глубиной увеличивается число и мощность прослоев глинистых пород. Песчаники преимущественно средне и крупнозернистые, с выраженной косой, иногда горизонтальной слоистостью. К алевролитовым пачкам приурочены

пласты углей, коэффициент угленосности варьирует от 1,5 до 5 %. Мощность ишановской свиты в среднем составляет 300 м.

Кемеровская свита (P_1 kr) отличается относительным постоянством литологического состава, мощности и угленосности на всей площади изучения. По литологическому признаку свита подразделяется на два горизонта. Верхний горизонт вмещает серию мощных угольных пластов, которые залегают в толще песчаников. Нижний горизонт представлен преимущественно глинистыми породами, мощность угольных пластов в целом не велика. Коэффициент угленосности свиты до 17%, мощность в границах района 215 – 260 м.

Верхний отдел Пермской системы занимают угленосные отложения кольчугинской серии, которые являются наиболее перспективными для добычи метана в исследуемом районе.

Кольчугинская серия включает кузнецкую (P_2 kz), ильинскую (P_2 il) и ерунаковскую (P_2 er) подсерии, которые в свою очередь подразделяются на свиты. Общая мощность осадков серии в регионе варьирует от 1300 до 1500 м.

Отложения кузнецкой подсерии (P_2 kz) согласно залегают на нижележащей толще верхнебалахонской подсерии. Литологический состав представлен мелко- и среднезернистыми песчаниками с тонкими прослоями конгломератов, гравелитов и алевролитов. Угольные залежи в форме маломощных линз встречаются редко. В целом, кузнецкая подсерия не вмещает промышленных запасов угля. Мощность подсерии варьирует от 150 до 250 м.

Отложения ильинской подсерии (P_2 il) распространены на всей площади района. Общая мощность отложений достигает 700 м, толща выклинивается в юго-восточном направлении. Литологическое строение подсерии представлено переслаиванием алевролито-глинистых пород и песчаников с пластами углей. Ильинскую подсерию разделяют на казанково-маркинскую (P_2 km) и ускатскую (P_2 us) свиты.

Отложения казанково-маркинской свиты (P_2 km) согласно перекрывают нижележащие осадки кузнецкой подсерии. Угленосность свиты крайне низкая, литологический состав представлен песчаниками разномзернистыми (до 65%),

алевролитами (до 15%) и переслаиванием песчаников с глинистыми породами. Редко встречаются маломощные прослои гравелитов и даже конгломератов. Мощность свиты составляет 300-350 м.

Ускальская свита (P₂ us) залегает согласно на отложениях казанково-маркинской свиты. Литологически представлена переслаиванием песчаников и алевролитов с угольными пластами. Средне- мелкозернистые алевролиты слагают маломощные, слабо выдержанные по простиранию слои. Нередко наблюдается выклинивание прослоев глинистых осадков или плавное изменение их гранулометрического состава вплоть до замещения песчаниками. Приуроченные к аргиллитам и алевролитам угольные пласты, соответственно подвержены выклиниванию. Тонкодисперсные осадки преобладают в разрезе свиты. Мощность отложений изменяется от 300 до 700 м.

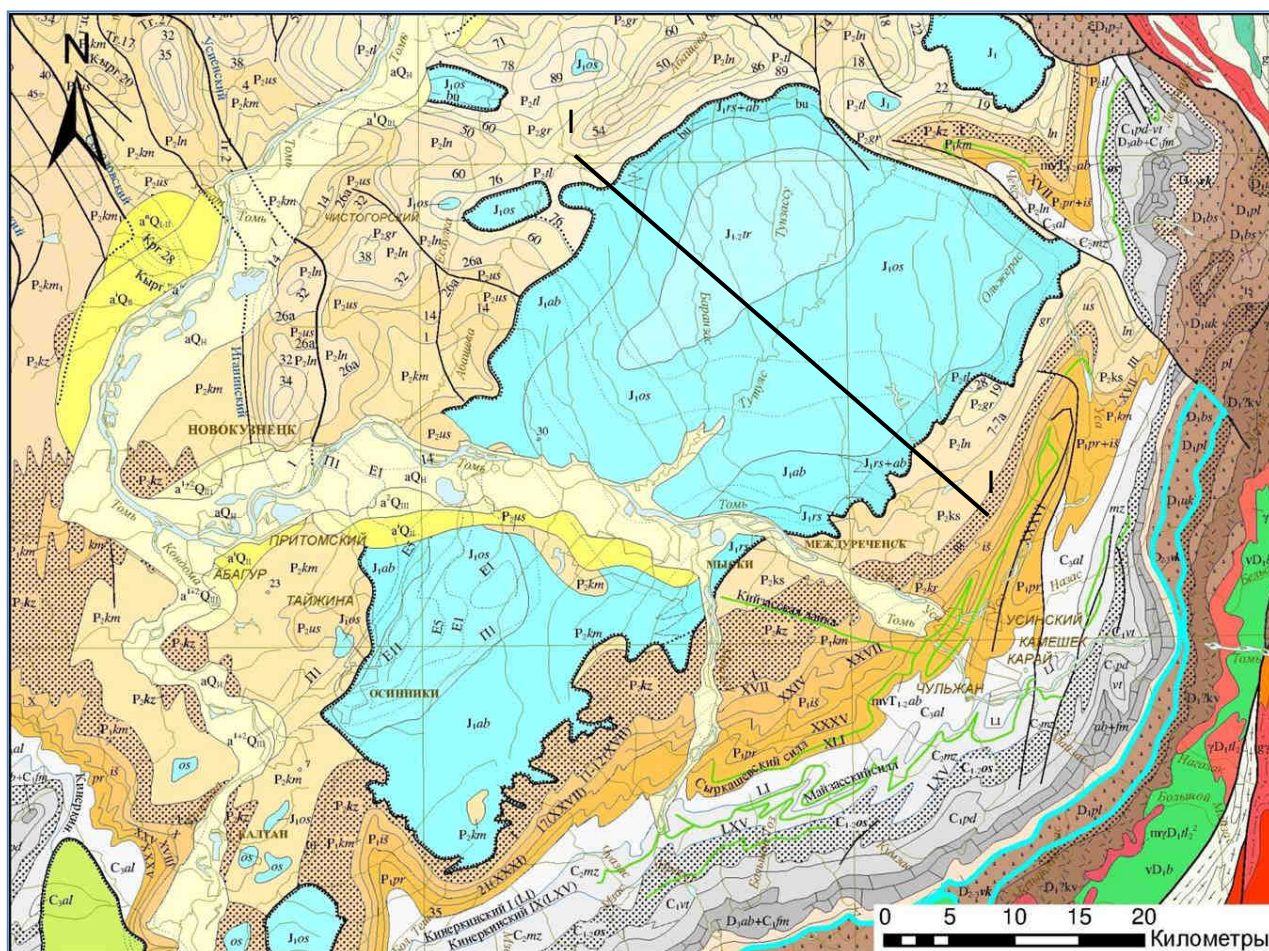
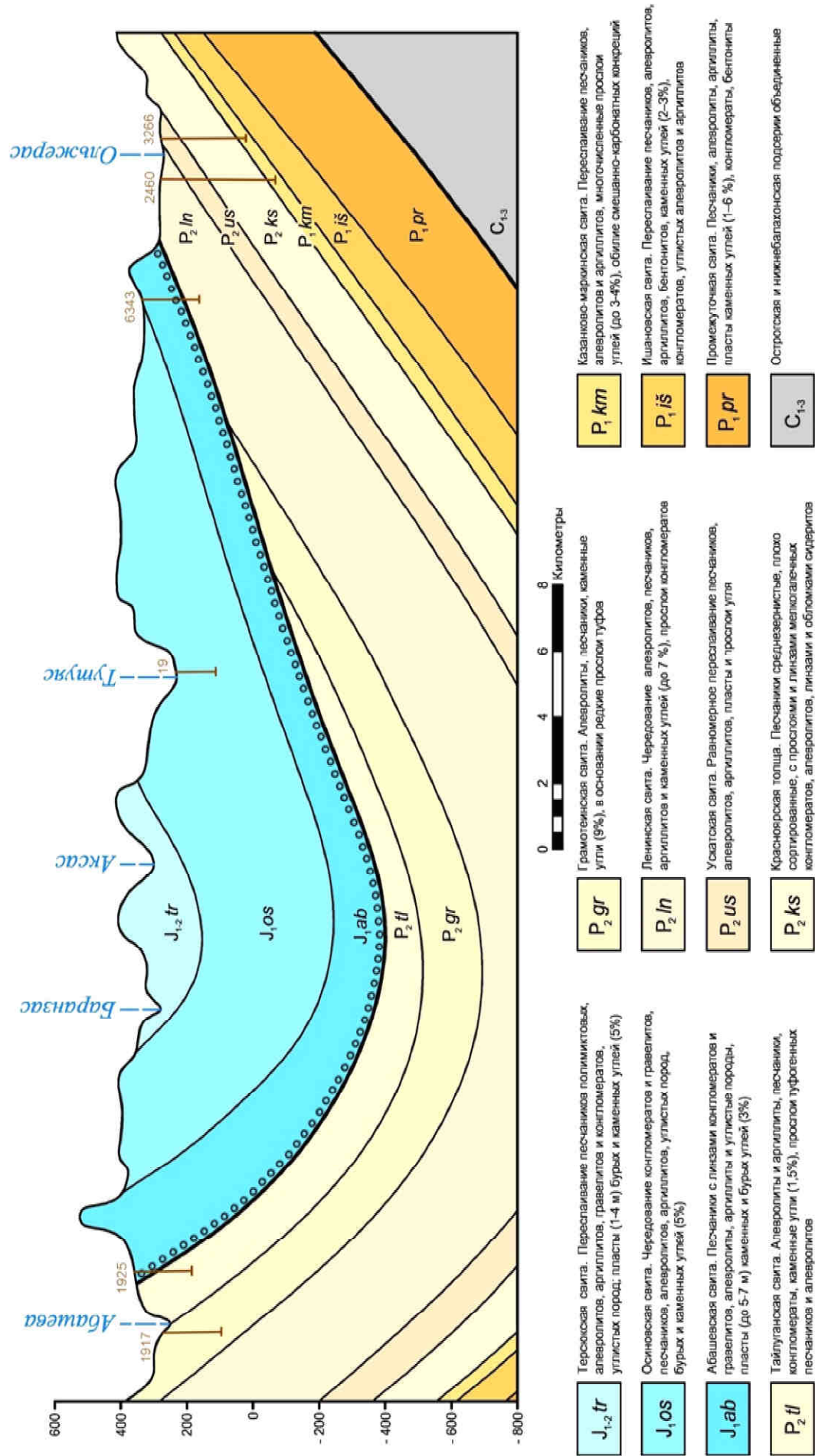


Рисунок 2.6. Геологическая карта района исследований (по материалам листа N-45 Государственной геологической карты [42]). I-I – линия разреза (рис. 2.7)

Рисунок 2.7. Геологический разрез Тулянской мульды



Ерунаковская подсерия

В строении отложений ерунаковской подсерии (P_2 er) возрастает доля песчаников и появляются прослой конгломератов мощностью до 5 м. Толща выклинивается в юго-восточном и юго-западном направлениях, максимальная мощность 850 м достигается в наиболее погруженной части Тутуянской мульды. Ерунаковская подсерия включает ленинскую (P_2 ln), грамотеинскую (P_2 gr), и тайлуганскую (P_2 tl) свиты.

Ленинская свита (P_2 ln) залегает на отложениях ускатской свиты без видимого несогласия. Характерной особенностью разреза является укрупнение циклов осадконакопления. В строении преобладают песчаники, чередуются слои алевролитов, аргиллитов и каменных углей. Встречаются прослой конгломератов и гравелитов. Мощность свиты достигает 500 м, угленосность составляет 7%.

Грамотеинская свита (P_2 gr) перекрывает осадки ленинской свиты без несогласий. Существенную долю разреза занимают серии песчаников различного грансостава с частыми линзами и прослоями конгломератов и гравелитов. Подчинённое положение занимают алевролиты. Мощность свиты варьирует от 300 до 490 м, а в южном и юго-западном направлении полностью выклинивается, обнажая нижележащие отложения. Угленосность разреза грамотеинской свиты достигает 9%.

Тайлуганская свита (P_2 tl) имеет ограниченное распространение и полностью отсутствует в южной части Тутуянской мульды. Наибольшая мощность отложений достигается в ядре мульды. Литологически свита представлена переслаиванием песчаников и алевролитов с редкими пропластками аргиллитов и пластами углей. Угленосность отложений не превышает 1,5%. Данная свита венчает толщу палеозойских отложений.

С длительным перерывом и угловым несогласием на палеозойских осадках в районе исследований залегают мезозойские терригенные отложения юрского возраста. Вследствие перерыва осадконакопления в кровле пермских отложений сформировалась древняя кора выветривания, определяющая низкую механическую прочность и повышенную проницаемость пород.

Юрская система

Отложения мезозойской эры представлены в районе исследований терригенно-угленосными отложениями юрского периода, которые относятся к тарбаганской серии. Отложения серии, слагающие ядро Тутуянской мульды, встречаются также в других крупных синклиналях бассейна: Чусовитино-Бунгарапской и Доронинской депрессиях. Мезозойские отложения залегают на палеозойских осадках с угловым несогласием. Литологически серию представляют континентальные терригенные осадки с доминирующим участием крупнообломочных пород, перемежаемых тонкодисперсными прослоями и пластами бурых углей. Толща юрских отложений тарбаганской серии в Тутуянской мульде подразделяется на распадскую (J_1 rs), абашевскую (J_1 ab), осиновскую (J_1 os) и терсюкскую свиты (J_{1-2} tr). Мощность отложений серии в ядре структуры достигает 800 м.

Распадская свита (J_1 rs) выходит на подчетвертичную поверхность по периметру распространения мезозойских отложений в Тутуянской мульде и изучалась в основном в юго-восточном и северо-западном бортах структуры. В литологическом строении свиты преобладают конгломераты. В кровле разреза свиты отмечены прослой и линзы песчаников, алевролитов и маломощные прослой бурых углей. Конгломераты сцементированы песчано-глинистым базальным материалом.

Абашевская свита (J_1 ab) распространена по всей площади Тутуянской мульды, выполняя основание толщи мезозойских осадков. Выходит на подчетвертичную поверхность вдоль южной и западной границ структуры. В литологическом составе свиты преобладают конгломераты, песчаники и алевролиты занимают второстепенное положение, аргиллиты распространены незначительно. Цемент конгломератов известковый, преимущественно базальный, реже – поровый. Встречаются также конгломераты с хлоритовым цементом. Свита вмещает около 10 угольных пластов, однако коэффициент угленосности не превышает 3%.

Осиновская свита ($J_1 os$) составляет подчетвертичную поверхность на большей площади Тутуянской мульды, залегая на отложениях распадской и абашевской свит без заметного несогласия. Нижнюю часть разреза представляют конгломераты с прослоями песчаников, в верхней преобладают алевролиты и аргиллиты. В целом, литологический состав наследует свойства абашевской свиты. В кровле разреза присутствует маркирующая пачка мелкодисперсных осадков с прослоями углей. Угленосность около 5%.

Терсюкская свита ($J_{1-2} tr$) распространена в ядре Тутуянской мульды, представлена преимущественно песчано-алевритовым материалом, встречаются прослои бурых и каменных углей. Цемент песчаников хлоритовый и карбонатный. В алевролитах встречаются прослои аргиллитов. Угленосность свиты достигает 5%.

Отложениями терсюкской свиты завершается мезозойский этап накопления терригенных осадков в южной провинции бассейна. В дальнейшие геологические эпохи происходит эрозионное разрушение осадков, формируются коры выветривания и накапливаются отложения речных долин.

Четвертичная система

Неоген-четвертичные осадки и образования представлены песчаными, гравийными и галечными отложениями речных долин, а также супесчано-глинистыми элювиально-делювиальными покровами водораздельных площадей и склонов. Фации четвертичных отложений постепенно сменяют друг друга по мере изменения уклона рельефа. Гранулометрический состав весьма невыдержанный как в плане, так и в разрезе. Мощность отложений изменяется от 0 до 50 м.

2.2.2 Тектоника

Кузнецкий бассейн представляет собой краевой прогиб на границе Кузнецкого Алатау и Горной Шории со складчатыми структурами Томь-Колыванской зоны. В мезозойское время в стык перечисленных структур вдавлен Салаирский блок [43].

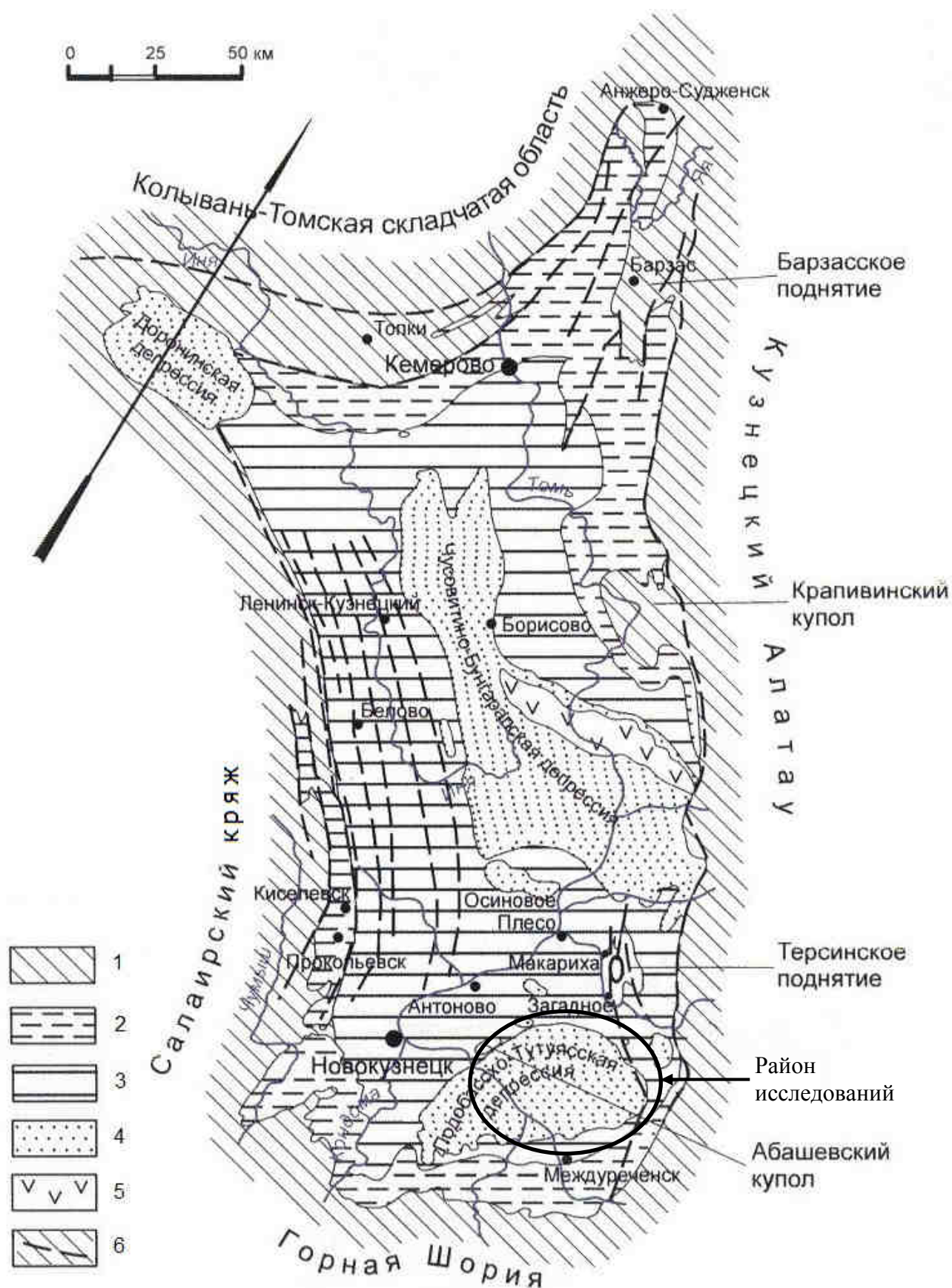


Рисунок 2.8. Схема тектонического районирования Кузнецкого прогиба [44].

1 – отложения кембрия-девона; 2, 3 – отложения нижнего яруса; 4 – отложения верхнего яруса; 5 – изверженные породы; 6 – тектонические нарушения.

Кузнецкий бассейн имеет сложную внутреннюю тектоническую структуру. В зонах сочленения с Салаирским кряжем и Колывань-Томской складчатой областью породы бассейна интенсивно дислоцированы складками геосинклинального типа. По мере приближения к осевой части складки выполаживаются и принимают форму дислокаций платформенного типа, сохраняя данный характер также при сочленении с Кузнецким Алатау.

Формирование Кузнецкого бассейна связано с тельбесской фазой тектоногенеза, которая вызвала прогибание юго-западной окраины района в конце силурского и начале девонского периодов. В дальнейшем бассейн испытывал погружение на протяжении среднего и позднего палеозоя, при этом различные его части погружались неравномерно, а периферийные участки периодически испытывали поднятия. Это обстоятельство выражено в литологическом строении осадочной толщи, пласты которой часто имеют непостоянную мощность и нередко даже выклиниваются. Таким образом, отложения, выполняющие Кузнецкий бассейн, перенесли несколько фаз тектонической активизации, интенсивность которых на площади бассейна отражена неравномерно.

В строении исследуемого региона выделяются два структурных яруса. Нижний ярус сложен отложениями Перми и Карбона, которые осложнены разрывными нарушениями и складками вследствие эйфельской и киммерийской фаз тектоногенеза. Юрские отложения верхнего яруса, залегающие на пермокарбоновых отложениях с угловым несогласием, подверглись воздействию киммерийской фазы и собраны в брахисинклинальные складки с пологими крыльями. Они выполняют крупнейшие отрицательные структурные элементы Кузбасса (рис. 2.8) – Доронинскую, Чусовитино-Бунгарапскую и Подобасско-Тутуясскую депрессии. Район исследований приурочен к последней из них и занимает её северо-восточную часть.

Тектонические условия района определяются его расположением в области сопряжения Кузбасса с Горной Шорией и Кузнецким Алатау (Рисунок 2.8). Пригорношорский участок представляет собой крупную моноклираль с пологим залеганием пластов, которое осложняется линейными складками Усинской зоны.

Угольные пласты здесь погружаются в северо-западном направлении, углы падения изменяются от 6-8° в южной части до 40° на севере. Наиболее сложным в тектоническом отношении является приалатаусский участок. Углы падения пластов здесь достигают 70° на крыльях Чексинской антиклинали.

Развитие брахисинклинальных складок на северо-западе района обусловлено влиянием Салаирского кряжа и Кузнецкого Алатау. Тарбаганское поднятие разделяет депрессию на Подобасскую и Тутуясскую мульды в области пересечения района долиной реки Томь. Соответственно, Тутуясскую мульду обрамляют следующие структуры (Рисунок 2.9): с северо-востока – Чексинская антиклиналь (2), с юго-востока – Главная моноклираль (3), с юго-запада – Тарбаганское поднятие (5), вдоль северо-западной части мульды расположены Абашевская антиклиналь (7), Кушеяковская синклиналь (8) и Кушеяковская антиклиналь (9).



Рисунок 2.9. Схема тектонического районирования района исследований.

1 – Кизыринская синклиналь; 2 – Чексинская антиклиналь; 3 – Главная моноклираль; 4 – Тутуясская мульда; 5 – Тарбаганское поднятие; 6 – Подобасская мульда; 7 – Абашевская антиклиналь (купол); 8 – Кушеяковская синклиналь; 9 – Кушеяковская антиклиналь.

Тектоническими условиями определяются структурные особенности залегания отложений бассейна, характер и взаимное положение элементов геологических структур, а также степень дислоцированности массива пород. Тектоническая трещиноватость определяет закономерности формирования потоков подземных вод, тем самым создавая предпосылки для гидродинамической и гидрогеохимической зональности подземных вод.

Глава 3. Гидрогеологические условия

Гидрогеологические условия в основном определяются факторами водообмена, рассмотренными во второй главе. Питание и разгрузка подземных вод зависит от климатических условий, формы рельефа и ландшафтных особенностей. Структурно-геологические условия обуславливают фильтрационную неоднородность недр, определяют степень взаимосвязи подземных и поверхностных вод. Совокупное действие факторов водообмена задаёт градиенты и направления потоков подземных вод, определяя интенсивность водообмена в рассматриваемых участках недр. Помимо рассмотренных факторов природных условий, следует отдельно выделить сугубо гидрогеологические факторы, которые вносят существенный вклад в формирование фильтрационной неоднородности, а также определяют перенос вещества подземными водами.

С точки зрения гидрогеологического районирования, Кузбасс представляет собой адартезианский бассейн [16], входящий в состав Алтае-Саянской складчатой области. Такого рода структуры обладают типичным для артезианского бассейна слоистым строением осадочных толщ, при этом характер движения подземных вод в Кузбассе является преимущественно трещинным, трещинно-жильным и трещинно-пластовым [45], что более характерно для гидрогеологических массивов. Таким образом, объединяя в своём строении особенности скального массива и многослойной водонапорной системы, Кузнецкий бассейн является переходной структурой, что определяет уникальность его гидрогеологических условий. Поровые коллекторы подземных вод на площади бассейна распространены только на участках аккумуляции отложений речных долин, оврагов и склонов.

Особенности строения Кузнецкого адартезианского бассейна обусловлены неравномерным уплотнением его осадков в процессе формирования синклинальной структуры при интенсивном латеральном давлении со стороны обрамляющих горных сооружений. Лагунно-континентальные отложения карбон-

пермского возраста смяты в складки и расчленены трещинами и разломами. Юрские отложения подверглись тектоническим воздействиям в меньшей степени, тем не менее, проницаемость мезозойской толщи зависит в первую очередь от трещиноватости и в меньшей степени от литологического строения.

Изучение гидрогеологических условий района включает рассмотрение таких аспектов, как гидрогеологическая стратификация, состав и свойства подземных вод, а также гидродинамическая и гидрогеохимическая зональность.

3.1. Гидрогеологическая стратификация

Закономерности распространения подземных вод Кузнецкого бассейна невозможно рассматривать в отрыве от геологической среды. Гидрогеологические условия бассейна формировались в ходе накопления, тектонических дислокаций и диагенетического преобразования осадков. В течение геологического времени изменялись условия осадконакопления, изменялась интенсивность и направление тектонических процессов. Длительная история геологического развития региона находит отражение не только в структурном облике бассейна, но и определяет условия залегания подземных вод и формирование их состава.

В отличие от классических артезианских структур, в строении Кузнецкого бассейна отсутствуют выдержанные водоупорные толщи, что существенно затрудняет определение границ водоносных комплексов. В тоже время, многочисленные гидрогеологические опробования показывают изменчивость условий движения, состава и свойств подземных вод в зависимости от возраста вмещающих пород и их положения в разрезе.

Наиболее простая и вместе с тем логичная схема гидрогеологической стратификации отложений Кузнецкого бассейна разработана Г.М. Роговым и изложена им в ряде работ [13–15]. Принцип определения границ гидрогеологических стратонів, применённый Геннадием Маркеловичем, опирается на общепризнанные положения гидрогеологической классификации [46].

В результате анализа условий формирования и движения подземных вод, их химического состава; на фоне фациальных, литологических и геохимических свойств горных пород, в пределах синклинальной структуры Кузбасса Г.М. Рогов выделил пять водоносных комплексов.

3.1.1. Первый водоносный комплекс (PR – C₁) объединяет толщу пород, сформированную в течение геологического времени от протерозоя до нижнего карбона. Данная толща относится к нижнему структурному ярусу и составляет фундамент бассейна. Первый водоносный комплекс выходит на поверхность по периметру бассейна и гидродинамически связан с подземными водами скальных массивов обрамляющих горных сооружений.

Литологический состав пород первого водоносного комплекса весьма разнообразен. Так, в области сочленения бассейна с Салаирским кряжем развиты преимущественно карбонатные и эффузивно-осадочные образования. На юго-востоке бассейна, в области сочленения с Кузнецким Алатау и Горной Шорией, в строении комплекса преобладают песчано-глинистые отложения с прослоями карбонатных пород и редкими эффузивами. Вариативность литологического состава обусловлена различием обстановок осадконакопления в отдельных частях бассейна.

По форме движения подземные воды комплекса относятся к трещинным и трещинно-пластовым. Отложениям комплекса присуща низкая пористость, в среднем не превышающая 5%, что связано с характером цементации пород глинистым материалом по типу заполнения. Проницаемость пород комплекса также неоднородна: наибольшие значения присущи известнякам, особенно на закарстованных участках, тогда как эффузивные и глинистые отложения слабопроницаемы. Проницаемость закономерно затухает с глубиной, мощность водообильных пород в среднем составляет 80-120 м.

Подземные воды терригенно-карбонатных отложений комплекса, опробованные в верхней гидродинамической зоне, слабощелочные гидрокарбонатные кальциевые с общей минерализацией 0,6-0,9 г/дм³.

Условные обозначения

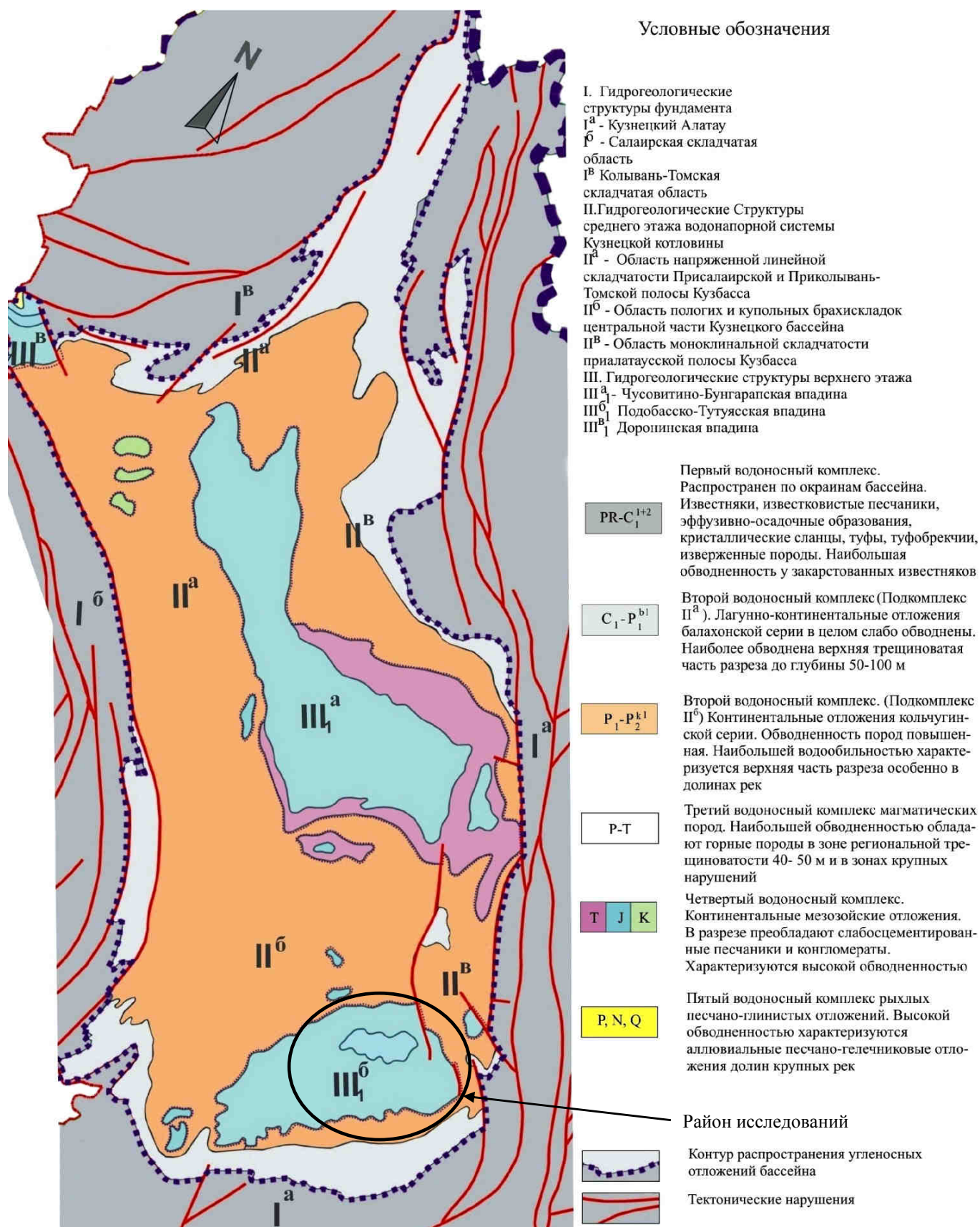


Рисунок 3.1. Гидрогеологическая карта Кузнецкого бассейна
 (по Г.М. Рогову [15] и В.П. Дегтярёву [19])

3.1.2. Второй водоносный комплекс охватывает мощную толщу угленосных отложений, слагающих средний ярус структуры бассейна. Подразделяется на подкомплексы **IIa** и **IIб**, которые приурочены соответственно к отложениям кольчугинской и балахонской серий.

Отложения **подкомплекса IIa** ($C_1 - P_1$), формировались в лагунно-континентальных условиях карбона и нижней перми. Толща угленосных пород балахонской серии сложена песчаниками, алевролитами, аргиллитами, конгломератами и углями, мощность варьирует от 1000 до 3600 м. Подкомплекс «а» второго водоносного комплекса обнажается в широкой полосе на площади главной моноклинали (см. тектоническую карту, юго-восточная граница) и широко развит в северной части бассейна.

Подземные воды подкомплекса трещинные, трещинно-пластовые и трещинно-поровые. Пористость водовмещающих отложений резко неоднородна. Наибольшие значения присущи песчаникам (до 15%). В зоне экзогенной трещиноватости (до глубин порядка 100 м) значения пористости достигают 15-20%. С глубиной пористость снижается до 1-2% [47]. Проницаемость пород в целом невысока и имеет тенденцию к затуханию с глубиной. Наиболее водообильны пласты песчаников под долинами рек.

Подземные воды лагунно-континентальных отложений подкомплекса **IIa**, по данным опробований верхней гидродинамической зоны, характеризуются гидрокарбонатным кальциевым, иногда гидрокарбонатным кальциево-магниевым составом с минерализацией в диапазоне 0,6 - 0,8 г/дм³. С глубиной минерализация увеличивается, а среди растворённых компонентов возрастает содержание натрия, вследствие чего тип вод сменяется гидрокарбонатным натриевым. В составе растворённых газов преобладает метан.

Отложения **подкомплекса IIб** ($P_1 - P_2$) сформированы в преимущественно континентальных условиях пермского периода и соответствуют кольчугинской серии. Имеют наибольшее распространение на площади бассейна, занимая его центральную часть. Угленосная толща сложена песчаниками, алевролитами, аргиллитами и углями, общая мощность достигает 4950 м. Угольные пласты

кольчугинской серии являются перспективными для добычи метана, по этой причине гидрогеологические свойства подкомплекса «б» второго водоносного комплекса представляют наибольший практический интерес.

Характер пустотности водовмещающих пород определяет трещинно-пластовый и трещинно-поровый тип коллекторов подземных вод подкомплекса. Пористость пород в целом выше, чем у нижележащих водоносных комплексов, что объясняется ростом степени литификации с увеличением возраста пород. Наибольшие значения пористости наблюдаются в верхней части разреза, где породы в зоне экзогенной трещиноватости имеют пористость 15-20% в среднем. С увеличением глубины пористость затухает до 4-5%.

Проницаемость пород подкомплекса Пб также превышает таковую у нижележащих толщ, поскольку коррелирует с открытой пористостью. Наибольшая проницаемость присуща интервалам разреза с доминирующей ролью песчаников, интервалы с преобладанием тонкодисперсных алевролитов и аргиллитов проницаемы в меньшей степени. Закономерно также снижение проницаемости пород с увеличением глубины залегания. В зоне открытой трещиноватости мощностью 100-150 м породы обладают наибольшей проницаемостью, которая весьма неравномерна по площади. Глубже 150 м проницаемость пород резко снижается. При этом максимальная проницаемость проявляется на площади речных долин. На водораздельных грядах разрез зоны активного водообмена слабопроницаем даже в зоне тектонических нарушений.

Подземные воды по данным опробований верхней гидродинамической зоны, характеризуются в основном гидрокарбонатным кальциевым составом, часто встречаются также гидрокарбонатные кальциево-магниевые или кальциево-натриевые воды, реже – гидрокарбонатно-сульфатные и даже сульфатно-гидрокарбонатные с высоким содержанием хлора на участках с интенсивной техногенной нагрузкой. Подземные воды верхней зоны имеют слабо кислую реакцию рН 6, минерализация как правило не превышает 0,8 г/л, в среднем составляя 0,3 г/л. Глубже 150 м залегают гидрокарбонатные натриевые (содовые) подземные воды, которые обладают щелочной реакцией и повышенной

минерализацией. С глубиной изменяется также газовый состав подземных вод: от кислородно-углекисло-азотного до преимущественно метанового.

3.1.3. Третий водоносный комплекс (Р – Т) выделен в зонах распространения магматических пород, которым свойственны наиболее сложные формы залегания и неравномерность гидрогеологических свойств. Магматические породы широко распространены в юго-восточной части Чусовитино-Бунгарапской депрессии, где залегают в форме базальтовых силлов и диабазовых даек. В области сочленения восточной границы бассейна с Кузнецким Алатау развита разветвлённая система интрузивных тел, выполняющих функцию локальных водоупорных горизонтов.

Проницаемость пород третьего водоносного комплекса весьма низкая. Наиболее проницаемые интервалы выявлены в зоне экзогенной трещиноватости, которая развита до глубины 50 м, а также в зонах тектонических нарушений. Магматические образования встречены на удалении от исследуемого района и не оказывают влияния на формирование гидрогеологических условий объекта.

Подземные воды третьего водоносного комплекса характеризуются гидрокарбонатным кальциевым составом при минерализации до 1 г/л и рН 8.

3.1.4. Четвёртый водоносный комплекс (Т, J, К) представлен мезозойскими континентальными отложениями, которые развиты на площади крупных синклинальных структур бассейна: Доронинской, Чусовитино-Бунгарапской и Подобасско-Тутуянской депрессий. Наибольшим распространением пользуются отложения юрского возраста.

Литологический состав мезозойских отложений составляют конгломераты и песчаники (до 52%), алевролиты (до 45%), аргиллиты (1%) и бурые угли (до 2,2%). На площади исследуемого района, в пределах Подобасско-Тутуянской депрессии, развиты нижне-среднеюрские отложения, в составе которых конгломераты занимают до 65% разреза, а на долю песчаников приходится до 30%. Породы литифицированы глинистым, песчано-глинистым, известковистым и кремнисто-известковистым цементом [48]. Пласты углей находятся на буроугольной стадии метаморфизма, что не позволяет их рассматривать в

качестве потенциального источника угольного метана. Тем не менее, гидрогеологические условия четвёртого водоносного комплекса имеют высокую значимость в контексте настоящей работы, поскольку толща мезозойских отложений в районе исследований мощным чехлом перекрывает перспективные угольные пласты палеозойского возраста.

Характер коллекторов подземных вод трещинный, трещинно-пластовый и трещинно-поровый. Мезозойские отложения подвержены диагенетизации в меньшей степени по сравнению с нижележащими палеозойскими осадками, поэтому породы четвёртого водоносного комплекса обладают повышенной пористостью. Значения пористости в зоне экзогенной трещиноватости составляют в среднем 15-25%, достигая 36-39% для песчаников и конгломератов. С глубиной пористость закономерно затухает. Мощность зоны экзогенной трещиноватости в мезозойских отложениях составляет около 150 м, уменьшаясь по направлению от водоразделов к тальвегам.

Проницаемость, связанная с открытой пористостью пород, соответствующим образом изменяется по площади распространения пород и в разрезе толщи. Разница величин проницаемости в пределах верхней гидродинамической зоны, в зависимости от гипсометрического положения точки наблюдения, достигает двух порядков. С глубиной проницаемость уменьшается по мере затухания экзогенной трещиноватости. Наибольшая проницаемость присуща участкам залегания сильно трещиноватых конгломератов и песчаников.

Подземные воды третьего водоносного комплекса в верхней гидродинамической зоне характеризуются низкой минерализацией в пределах 0,2-0,4 г/дм³, гидрокарбонатным кальциевым или кальциево-магниевым составом и имеют кислую реакцию.

3.1.5. Пятый водоносный комплекс (Р, N, Q) сформирован рыхлыми отложениями палеогена, неогена и, в большей степени, четвертичного периода. Комплекс представлен песчано-глинистыми породами, перекрывающими коренные отложения на всей площади бассейна. Мощность отложений, как и гранулометрический состав, изменяются в широких пределах. В отличие от

нижележащих комплексов трещиноватых коренных пород, пятый водоносный комплекс объединяет поровые коллекторы подземных вод.

Рыхлые отложения комплекса включают в себя суглинистые эллювиально-делювиальные образования коры выветривания, которые развиты на водораздельных площадях и их склонах, а также песчано-галечные аллювиальные отложения, развитые на площади речных долин. Мощность покровных образований на водоразделах достигает 60 метров. Аллювиальные отложения, как правило, имеют мощность до 12 м [10].

Проницаемость пород пятого водоносного комплекса зависит от их гранулометрического состава, который весьма изменчив. Наиболее проницаемы песчано-галечные отложения долин крупных рек (Томь, Иня). Покровные суглинистые образования водоразделов характеризуются невысокой проницаемостью и нередко слагают зону аэрации.

Подземные воды аллювиальных отложений по результатам опробований являются гидрокарбонатными кальциевыми, редко гидрокарбонатными кальциево-магниевыми, слабоминерализованными (0,2-0,4 г/дм³).

Приведённая гидрогеологическая стратификация базируется на связи между возрастом отложений Кузнецкого бассейна и их неоднородностью по условиям формирования подземных вод.

3.2. Зональность подземных вод

Обширный фактический материал, собранный за длительный период изучения подземных вод и геологического строения Кузбасса, позволяет судить о высокой изменчивости состава подземных вод, как по площади бассейна, так и в разрезе слагающих его отложений. В целом, для недр Кузбасса свойственна прямая гидродинамическая неоднородность и сопряжённая с ней гидрогеохимическая зональность. Для верхней части разреза присуща также латеральная гидродинамическая неоднородность.

Закономерности изменения гидрогеологических условий на территории Кузбасса исследовали Постникова, Кузнецова, Савина, Рогов, Попов, Покровский,

Макушин, Дегтярёв, Андреева, Домрочева и другие учёные. По результатам многочисленных исследований, в разрезе отложений Кузбасса выделены три характерные зоны, различающиеся по интенсивности водообмена и темпам сопряженных с ним процессов. Это зоны активного, замедленного и весьма замедленного водообмена.

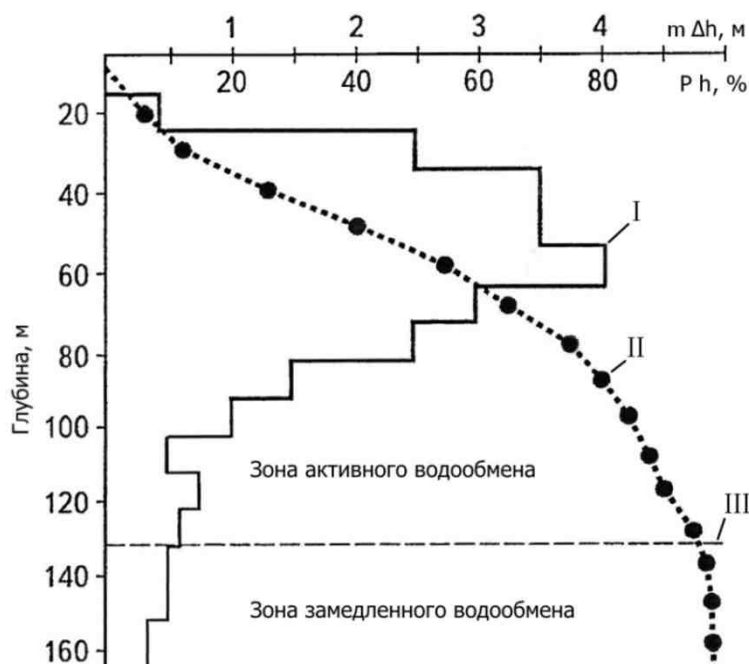


Рисунок 3.2. Характер изменения водообильности пород в верхней части разреза Кузнецкого бассейна по Ю.В. Макушину [18].

I — интегральный график средней мощности высокопроницаемых участков $m \Delta h$;
II — накопительный график водообильности; III — граница гидродинамических зон.

Зона активного водообмена охватывает верхнюю часть отложений бассейна и приурочена к высокопроницаемым рыхлым современным отложениям и нарушенным коренным породам в пределах развития экзогенной трещиноватости. Нижняя граница зоны определяется по затуханию проницаемости пород и изменению физико-химических свойств подземных вод и, в зависимости от региональных условий, устанавливается на глубинах до 100-150 метров. На формирование фильтрационной неоднородности верхней гидродинамической зоны влияют с одной стороны геологические факторы, такие как литологическое строение и тектонические условия, с другой стороны — региональные факторы, определяющие градиент потоков подземных вод.

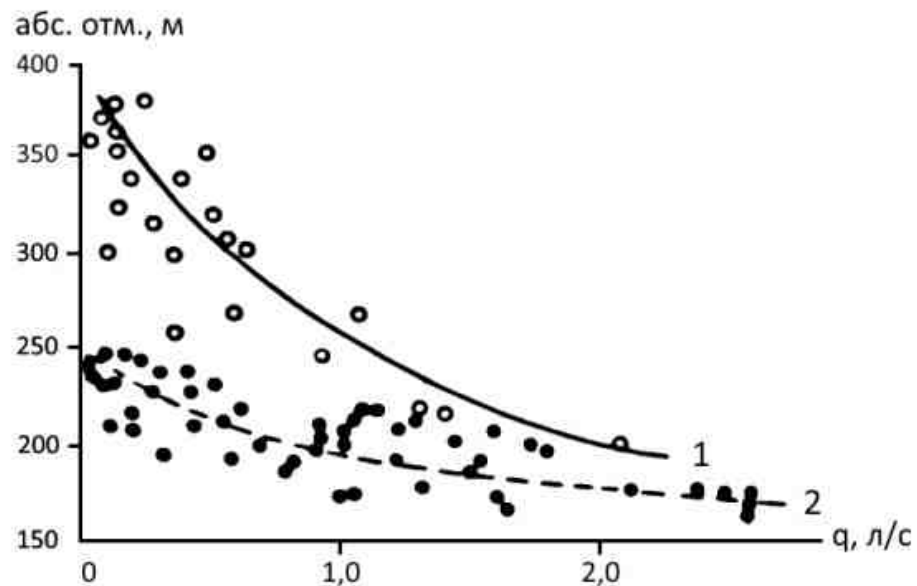


Рисунок 3.3 Функциональная зависимость удельного дебита скважин от высоты расположения устья (По Г.М. Рогову). 1 – кривая зависимости для Томь-Усинского района; 2 – для Кемеровского района.

Гидрогеологическим условиям зоны активного водообмена присуща наибольшая пространственная изменчивость. Формирование режима подземных вод данной зоны происходит под выраженным влиянием климатических факторов. В зависимости от условий питания и разгрузки, в верхней зоне наблюдается несколько типов режима: водораздельный, склоновый, прибрежный, искусственный и карстовый. Особенности режима подземных вод Кузнецкого бассейна подробно рассматривается в работах Рогова [13] [14], Соломко [12], Макушина [18].

Площадная зональность естественного режима возникает вследствие взаимодействия подземных вод с горными породами. В процессе фильтрации происходит изменение проницаемости массива водовмещающих пород. Так в долинах, в процессе разгрузки подземных вод в речную сеть, происходит суффозионный вынос заполняющего тонкодисперсного материала из пор и трещин горных пород. Параллельно происходит расцементация терригенных пород по поверхности трещин вследствие выщелачивания карбонатного цемента подземными водами. Это способствует увеличению проницаемости разреза под долинами рек. На водораздельных площадях, напротив – в процессе

инфильтрационного питания происходит кольямация пустот в породах глинистыми частицами покровных отложений, что способствует затуханию проницаемости.

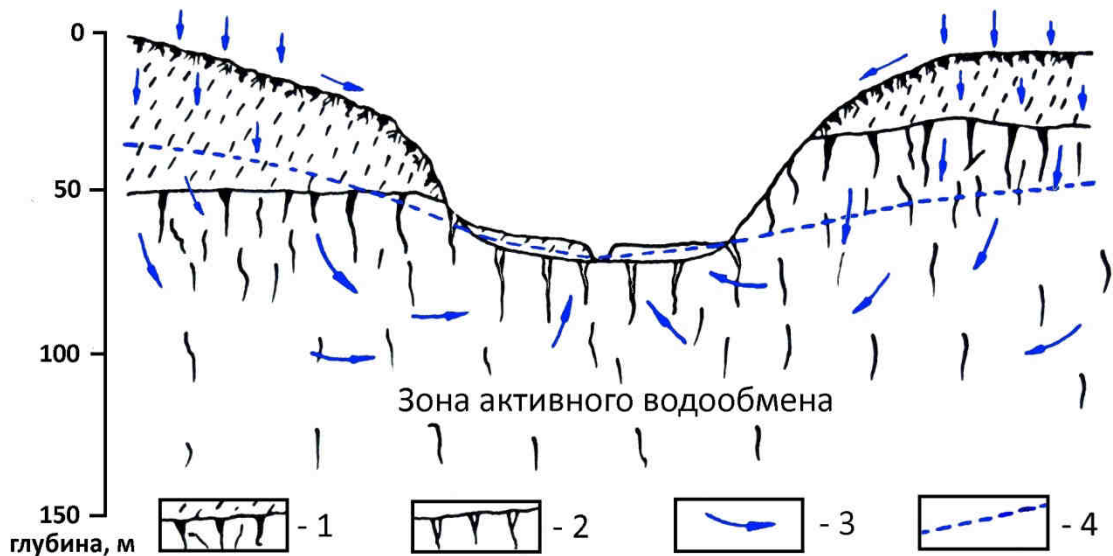


Рисунок 3.4 Схема формирования фильтрационной неоднородности зоны активного водообмена (По Г.М. Рогову).

1 – кольямация трещин на водоразделах; 2 – расцементация и промывание трещин в долинах рек; 3 – направление движения воды; 4 – уровень подземных вод.

В результате геологически длительного переноса минеральных частиц подземными водами, проницаемость массива горных пород в зоне активного водообмена варьирует в широких пределах. Фильтрационные показатели в границах одной литологической разности, в зависимости от положения точки наблюдения на водоразделе или в долине реки, может отличаться на несколько порядков (рисунок 2.12). Соответственно, в пределах склонов долин устанавливается переходный режим движения подземных вод от водораздельного к прибрежному. Искусственный режим наблюдается на участках интенсивной хозяйственной деятельности, затрагивающей подземные воды (шахтные поля, карьеры, месторождения подземных вод). Карстовый режим формируется в закарстованных породах.

Водораздельный режим фильтрации подземных вод выражен в зоне активного водообмена и наблюдается соответственно на площади водоразделов. Данный режим характеризуется преимущественно вертикальным нисходящим движением подземных вод. Здесь происходит интенсивное инфильтрационное питание, а уровень подземных вод колеблется в зависимости от климатических факторов. Амплитуда колебаний от 0,5 до 2 м. Подземные воды залегают на глубине первых десятков метров, напоры уменьшаются с глубиной. По мере удаления от оси водораздела всё большее значение получает латеральная составляющая фильтрационного потока, характерная для склонового режима.

Прибрежный режим фильтрации наблюдается в понижениях рельефа и характеризуется гидравлической связью подземных вод с поверхностными водотоками. В долинах рек подземные воды разгружаются, поэтому фильтрационные потоки имеют латеральную и восходящую направленность. Высокая проницаемость русловых отложений и коренных пород в зоне активного водообмена обуславливают зависимость уровней подземных поверхностных и вод. Соответственно, амплитуда сезонных колебаний уровня подземных вод зависит от режима водотока и уменьшается пропорционально удалению от его русла. Подземные воды залегают на глубине первых метров и часто обладают напором выше поверхности земли. С глубиной напор подземных вод увеличивается. По мере удаления от тальвега долины, прибрежный режим фильтрации сменяется склоновым.

Склоновый режим фильтрации является переходным между водораздельным и прибрежным, характеризуется преимущественно латеральным направлением фильтрационных потоков. Сезонные колебания уровня подземных вод на площади склонов имеют наименьшую амплитуду. Проницаемость водовмещающих пород изменяется в широком диапазоне.

Искусственный режим фильтрации формируется при существенном воздействии на поле напоров подземных вод в результате инженерной деятельности. В Кузбассе искусственный режим фильтрации наблюдается на полях шахт, угольных разрезах и месторождениях подземных вод. Снижение

естественного уровня подземных вод зависит от глубины отработки полезных ископаемых и может достигать нескольких сотен метров от поверхности. Площади депрессионных воронок над горными выработками Кузбасса достигают десятков км² [13, 14].

Карстовый режим подземных вод характерен для подземных вод, приуроченных к закарстованным карбонатным породам, которые распространены в областях сопряжения бассейна с обрамляющими его горными сооружениями. Карстовый режим характеризуется повышенной проницаемостью карстующихся пород и выражается в исключительно интенсивной инфильтрации атмосферных осадков и инфильтрации поверхностных вод. Данному режиму свойственны резкие сезонные колебания уровня подземных вод.

Зона замедленного водообмена выделяется глубже границы верхней гидродинамической зоны и характеризуется существенно меньшей проницаемостью пород, затуханием сезонных колебаний уровня подземных вод и возрастанием их минерализации. Мощность данной зоны, по оценкам специалистов, составляет порядка 2 км [20]. Точные сведения о глубинах, которые охватывает зона замедленного водообмена отсутствуют, поскольку изученность гидрогеологических условий с глубиной уменьшается, а результаты опробования немногочисленных глубоких скважин на площади бассейна не позволяют однозначно определить мощность второй гидродинамической зоны. Нижняя граница устанавливается по резкой смене физико-химических свойств подземных вод, глубина которой может варьировать в широких пределах в зависимости от региональных условий. По данным опробования глубоких скважин на Томской и Распадской площадях, для глубин до 2500 м всё ещё характерны условия зоны замедленного водообмена. При опробовании глубокой скважины на Абашевской площади, на глубине более 2000 м выявлена гидрогеохимическая обстановка зоны весьма замедленного водообмена.

Наибольший интерес в рамках данного исследования представляют гидрогеологические условия зоны замедленного водообмена, поскольку участвуют в формировании ресурсов метана угольных пластов и определяют

технологии его добычи. К сожалению, изученность данной гидродинамической зоны намного ниже, чем вышележащей. Это объясняется тем, что в связи с относительно низкой проницаемостью пород и, соответственно, невысокими водопритоками при проходке горных выработок, гидрогеологические опробования этой зоны в большинстве случаев не проводились. Немногочисленные пробные откачки из глубоких разведочных скважин в Томь-Усинском районе выявили широкий диапазон изменения фильтрационных параметров при их в целом низких значениях.

Практический интерес к строению второй гидродинамической зоны актуализовался в связи с перспективой добычи метана из угольных пластов. Для оценки ресурсов этого полезного ископаемого были проведены разведочные работы в Ерунаковском районе Кузбасса [16, 17]. Результаты опробования разведочных скважин, а также лабораторные испытания полученного на больших глубинах керна, при сравнении их с данными структурного бурения на Абашевской, Томской, Распадской площадях, позволяют определить общие характеристики гидрогеологических условий зоны замедленного водообмена, установить диапазон значений фильтрационных параметров и закономерности их изменения в толще угленосных пород.

Вследствие кольматации порового и трещинного пространства в процессе вторичного минералообразования на границе гидродинамических зон, зона замедленного водообмена практически изолирована от влияния поверхностных водных объектов. Процесс водообмена замедляется до геологического масштаба времени. Движение подземных вод осуществляется в основном по относительно проницаемым тектоническим нарушениям, которые формируют азональные участки питания и разгрузки подземных вод угленосной толщи.

Фильтрационная неоднородность зоны замедленного водообмена обусловлена степенью трещиноватости и открытости трещин. Подземные воды по форме движения являются трещинно-пластовыми, в зонах тектонических нарушений – трещинно-жильными. Литологическое строение оказывает более существенное влияние на гидродинамическую неоднородность рассматриваемой

зоны, чем в зоне активного водообмена, где развита экзогенная трещиноватость и процессы массопереноса весьма интенсивны. В зоне замедленного водообмена литологические разности отличаются по проницаемости в силу различия механических условий развития трещин, а также преобразования трещинного пространства при взаимодействии с подземными водами. Сцементированные тонкодисперсные породы, такие как аргиллиты и алевролиты, обладают большей удельной поверхностью трещин, чем песчаники и конгломераты. При этом в менее трещиноватых песчаниках при разрушении цемента по поверхности нарушений, формируются высокопроницаемые пути фильтрации, заполненные песчаным материалом. В аргиллитах и алевролитах напротив, просвет трещин при расцементации кольяматруется глинистым материалом, затрудняющим проницаемость.

Зона весьма замедленного водообмена выделяется по изменению состава подземных вод вследствие роста минерализации за счёт ионов хлора. Принято считать, что данные условия устанавливаются на глубинах более 2000 м, однако данные опробований некоторых глубоких скважин выявили азональные условия в интервале глубин 2000-2500 м. Проницаемость пород в зоне весьма замедленного водообмена не отличается существенно от вышележащей зоны, но гидрогеохимическая обстановка изменяется вследствие угасания гидродинамических взаимодействий с областями питания и разгрузки подземных вод.

3.3. Состав и свойства подземных вод

Как отмечалось выше, для Кузнецкого бассейна характерна прямая гидрогеохимическая зональность, коррелирующая с гидродинамической неоднородностью геологического разреза. Химический состав подземных вод определяется, в первую очередь, стадией взаимодействия воды с вмещающими породами [53]. По мере уменьшения интенсивности водообмена с глубиной закономерно растёт минерализация, изменяются ионный состав и физические свойства подземных вод. Зоны с различной интенсивностью водообмена в разрезе

бассейна отличаются характерными особенностями подземных вод, приведёнными в таблице 3.1 [26].

Для *зоны активного водообмена* свойственно распространение пресных гидрокарбонатных кальциевых и гидрокарбонатных натриево-кальциевых вод. Минерализация подземных вод в данной зоне не превышает 1 г/л, воды характеризуются около нейтральной реакцией (средняя величина pH – 7,5). Концентрация гидрокарбонат-иона достигает 0,9 г/л при среднем значении 0,4 г/л, при этом ион кальция не превышает 0,05 г/л, натрий – 0,05 г/л, а хлор – 0,006 г/л. В качестве исключения в зоне активного водообмена встречаются воды нетипичного состава с минерализацией до 2 и даже 3 г/л. Нетипичные воды, по-видимому, являются следствием засоления и техногенного загрязнения подземных вод. Аномальные данные, хотя и обеспечивают пестроту химического состава подземных вод, тем не менее, не противоречат общим закономерностям, приведённым в Таблице 3.1.

Таблица 3.1. Характерные физико-химические показатели подземных вод Кузнецкого бассейна

Зона водообмена	Глубина распространения, м	pH	Минерализация, г/л	Макрокомпоненты, мг/л					
				HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Активного	0-200	7.5	< 1	350	50	50	20	5	15
Замедленного	200-2000	8.7	1-10	1200	600	20	10	200	160
Весьма замедленного	>2000	-	>20	10000	12000	35	15	11000	1700

В *зоне замедленного водообмена* наибольшим распространением пользуются гидрокарбонатные натриевые (содовые) подземные воды [23]. Их

минерализация варьирует в пределах от 1 до 6 г/л, достигая 10 г/л в толщах с наименьшей интенсивностью фильтрации. Несмотря на общую тенденцию к увеличению минерализации с глубиной, в зоне замедленного водообмена нередко встречается разброс значений минерализации в пределах нескольких грамм для одной и той же глубины. Это объясняется характером фильтрационной неоднородности трещинных коллекторов, которая определяет различную степень связи с вышележащей зоной пресных вод.

Помимо преобладающих содовых вод, в зоне замедленного водообмена встречаются воды от $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ до $\text{Cl} - \text{SO}_4 - \text{Na}$. По мере увеличения глубины опробования, гидрокарбонатные типы подземных вод сменяются хлоридными, включая ряд переходных подтипов. Содержание основных макрокомпонентов в подземных водах с глубиной неравномерно возрастает.

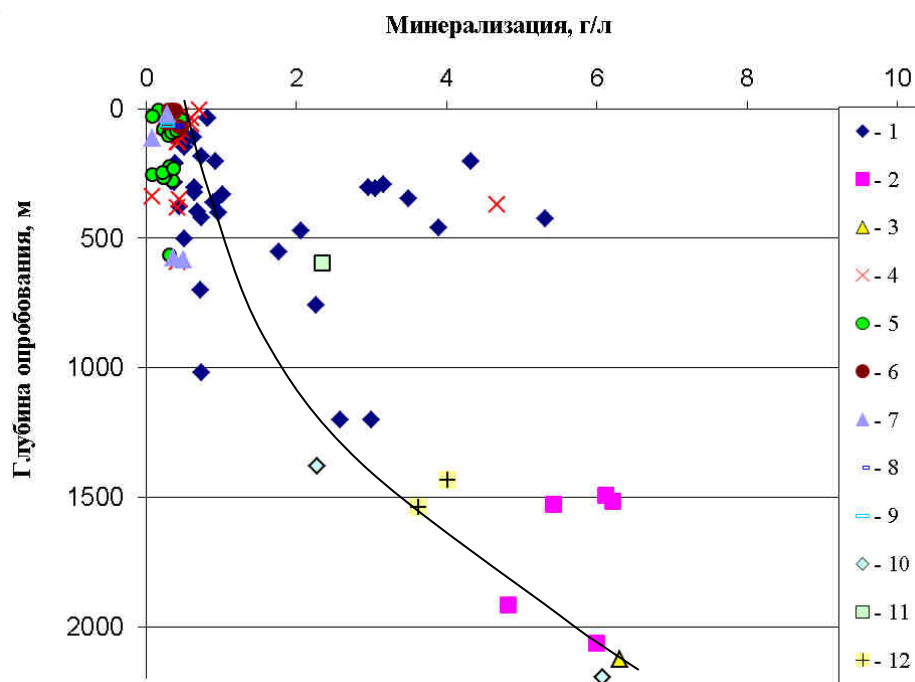


Рисунок 3.5. Изменение с глубиной минерализации и состава подземных вод в южных районах Кузбасса (по Е.В.Домрочевой) [54].

Типы вод: 1) $\text{HCO}_3 - \text{Na}$, 2) $\text{SO}_4 - \text{Na}$, 3) $\text{Cl} - \text{Na}$, 4) $\text{HCO}_3 \text{ Ca-Na}$, 5) $\text{HCO}_3 \text{ Na-Ca}$, 6) $\text{HCO}_3 \text{ Ca}$, 7) $\text{HCO}_3 \text{ Mg-Ca}$, 8) $\text{HCO}_3 \text{ Mg-Na}$, 9) $\text{HCO}_3 \text{ Mg-Ca-Na}$, 10) $\text{HCO}_3 - \text{Cl Na}$, 11) $\text{Cl} - \text{HCO}_3 - \text{Na}$, 12) $\text{HCO}_3 - \text{SO}_4 \text{ Na}$.

Зона *весьма замедленного водообмена* вмещает воды хлоридного лубиной по данным опытных работ на Распадской (Cl^- до 11 г/л) и гидрокарбонатно-хлоридного (HCO_3^- до 10 г/л) состава с преобладанием натрий-иона (Na^+ до 12 г/л) (таблица 3.1). Собственно, смена гидрокарбонатных натриевых вод хлоридными и определяет границу зон замедленного и весьма замедленного водообмена. Характерные для этой зоны хлоридные воды с минерализацией до 35 г/л, вскрыты структурно-поисковыми скважинами в ходе разведки нефтегазоносности Кузнецкого бассейна. Принято считать, что подземные воды зоны замедленного водообмена имеют седиментационное происхождение, в отличие от инфильтрационных вод верхних гидродинамических зон.

Глава 4. Гидрогеодинамическая модель Тутуясской мульды

Процедура моделирования подразумевает воспроизведение реальных объектов, процессов или явлений с целью изучения присущих им объективных закономерностей [55]. Применительно к гидрогеологии моделирование впервые применялось ещё на стадии исследования физической природы движения подземных вод и разработки методологии геофильтрационных расчётов (опыты Дарси) [56, 57]. В практику решения инженерных задач моделирование входит с 30-х годов XX века, динамично развиваясь и расширяя охват сфер деятельности. Теоретические и практические аспекты моделирования гидрогеологических процессов рассматриваются в работах Жернова [58], Лукнера [59], Гавич [60–62], Ломакина [63], Шестакова [64], Мироненко [65], Ленченко [66], Букаты [67–69], Гриневского [70, 71] и других учёных.

Методология гидрогеодинамического моделирования в целом базируется на положениях общей теории подобия [72], с некоторыми оговорками. Характерная особенность гидрогеологических систем, выраженная в высокой степени неоднородности внутреннего строения и сложности границ, определяет специфику подхода к построению моделей, которая отличается от практики моделирования большинства физических объектов. Особенность гидрогеологического моделирования состоит в широком применении обоснованных упрощений и обобщений в процессе параметрического наполнения модели. Таковыми упрощениями является выявление ведущих и отсеивание второстепенных факторов, усреднение значений параметров среды, приведение начальных и граничных условий к закономерным функциям и тому подобные операции. Данная особенность не позволяет слепо следовать требованию классической теории подобия о строгой пропорциональности всех параметров модели и объекта в любой точке пространства и на любой момент времени, вследствие чего модель гидрогеологической системы всегда является в той или иной степени приближенной к реальному объекту. Искусство моделирования гидрогеологических процессов состоит в том, чтобы в рамках задач конкретного

исследования не затрачивать ресурсы на малозначительные факторы, но чтобы принятые для этого упрощения минимально затронули определяющие параметры системы.

Ключевым этапом изучения природно-технических гидрогеологических систем является составление логической, знаковой и графической моделей гидрогеологических условий района исследований. Согласно определениям Гавич И.К. [62], логической моделью гидрогеологического объекта является перечень присущих ему основных внутренних и внешних связей. Знаковая модель представляет собой совокупность структурных схем изучаемого гидрогеологического процесса, включающая объекты техногенного воздействия, закономерности функционирования искусственных и природных режимообразующих факторов. Графическая модель включает в себя плановые и профильные схемы природной среды (карты, разрезы) фильтрационные и расчётные схемы.

Данная глава посвящена детальному анализу условий движения подземных вод в недрах Тутуянской мульды с целью типизации и схематизации гидрогеологических условий. Результаты представлены в виде логической, знаковой и графической гидрогеологических моделей, которые необходимы для параметрического обеспечения исследования инженерных воздействий на гидросферу района на следующем этапе настоящей работы.

4.1. Региональные особенности движения подземных вод

Особенности природных условий и геологического строения каждого участка земной коры обуславливает уникальную гидрогеологическую обстановку, выраженную в интенсивности водообмена и направлении потоков подземных вод различных гидрогеологических стратонов на рассматриваемом участке. Формирование фильтрационных потоков происходит под влиянием совокупности факторов природных условий, рассмотренных в предыдущих главах. В настоящем разделе, на основании вышеизложенного материала, рассматриваются условия движения подземных вод в недрах Тутуянской мульды в контексте выявления

основных гидродинамических закономерностей для последующей типизации и схематизации гидрогеологических условий в рамках обоснования модели.

4.1.1. Условия питания и разгрузки подземных вод

Водообмен в пределах пустотного пространства геологических структур определяется проницаемостью среды и градиентом фильтрационных потоков, а также условиями питания и разгрузки подземных вод [73].

Питание подземных вод в ненарушенных условиях осуществляется за счёт инфильтрации атмосферных осадков и рассредоточено по площади водоразделов и их склонов. Интенсивность питания зависит от таких факторов, как величина атмосферных осадков, крутизна уклона земной поверхности и особенности ландшафта, а также фильтрационное сопротивление пород в зоне аэрации. Разгрузка подземных вод осуществляется в поверхностные водотоки, а также за счёт испарения и транспирации на участках с уровнем грунтовых вод близким к поверхности. Соответственно, областями разгрузки подземных вод являются долины рек.

Условия водообмена в толще водовмещающих пород неравномерны. На небольшой глубине от поверхности фильтрационный поток повторяет направление поверхностного стока. С глубиной гидравлическая связь подземных вод с областями питания и поверхностными водотоками затухает пропорционально росту фильтрационного сопротивления разделяющей толщи. В результате чувствительность гидродинамического поля к структуре внешних гидравлических границ ослабевает, и движение подземных вод определяется региональными факторами. Для района Тутуянской мульды региональной дренажной является долина реки Томь, а формирование напорных угленосных толщ, перекрытых юрскими отложениями, происходит на возвышенных участках за пределами структуры, на площади Чексинской и Кушеяковской антиклиналей. Глубокозалегающие толщи получают питание на удалении от района Тутуянской мульды, на склонах Кузнецкого Алатау.

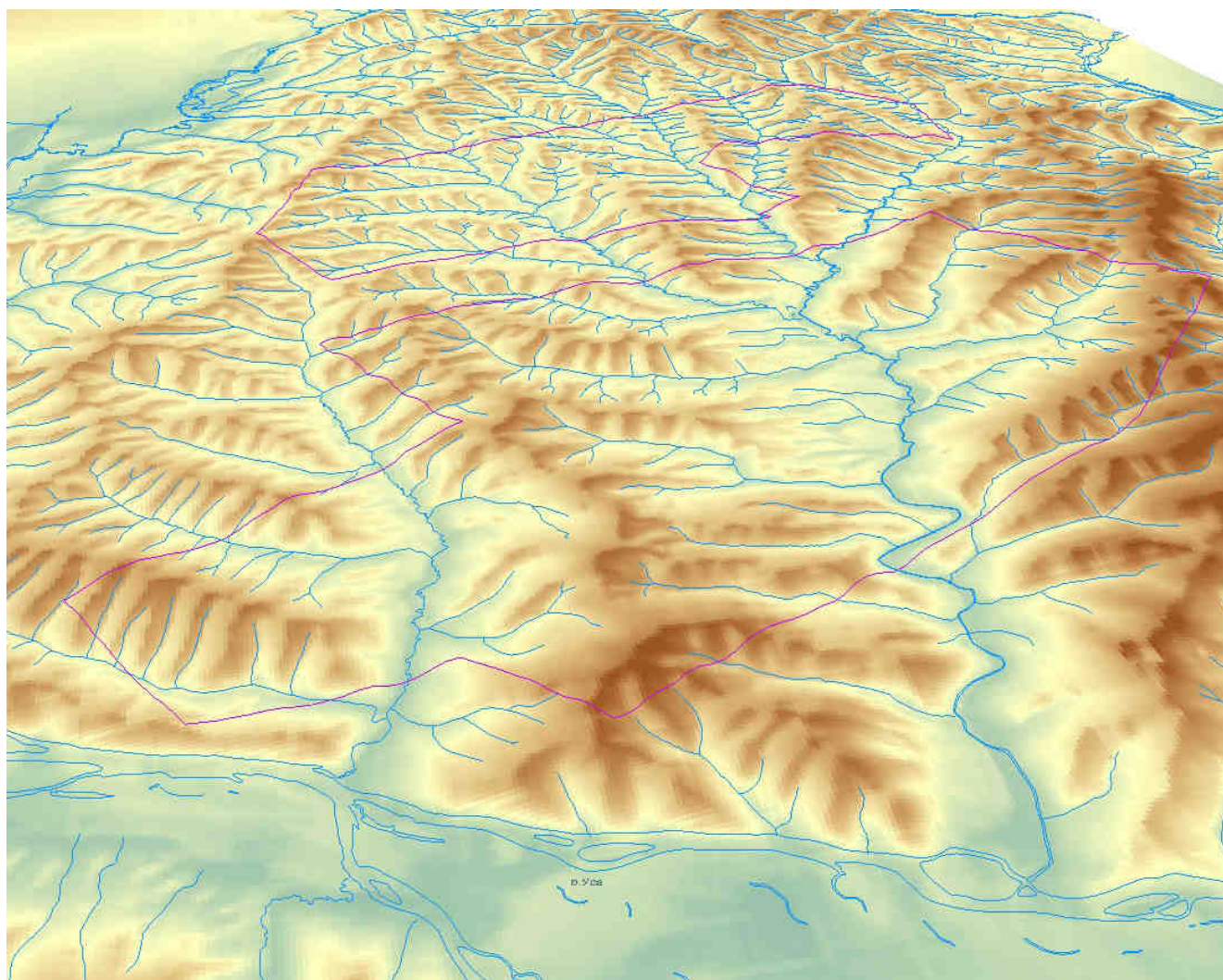


Рисунок 4.1. Трёхмерная модель рельефа Тутуяс-Ольжерасского водораздела.

Пространственное положение областей питания и разгрузки подземных вод определяется рельефом земной поверхности и может быть воссоздано по данным модели земной поверхности. На рисунке 4.1 показан фрагмент рельефа и гидрографической сети района исследований. Возвышенные участки, выделенные коричневой заливкой, на которых формируются нисходящие фильтрационные потоки, соответствуют областям питания подземных вод. Понижения рельефа, выделенные зелёным, характеризуются восходящей фильтрацией и соответствуют областям разгрузки. На участках склонов, выделенных жёлтым цветом, происходит транзит подземных вод между областями питания и разгрузки. Участки питания и разгрузки подземных вод являются внешними гидродинамическими границами области фильтрации, поэтому к ним целесообразно приурочить и внешние границы гидрогеологической модели.

Для моделирования гидрогеологических систем необходимо знать не только пространственное положение, но и параметры граничных условий, а также закономерности их изменения во времени и пространстве. Выявление параметров граничных условий будет выполняться на стадии схематизации.

Следует отметить, что для Кузбасса характерно отсутствие выраженных водоупорных толщ и все водоносные комплексы рассматриваются как гидравлически связанные [20, 25, 28, 51]. Эта особенность гидрогеологических условий определяет формирование сложного поля напоров подземных вод, подчиняющегося в одном и том же сечении различным внешним границам, в зависимости от глубины. Данный фактор существенно затрудняет схематизацию гидрогеологических условий и ограничивает применимость геофильтрационных расчётов.

4.1.2. Закономерности формирования фильтрационных потоков

Фильтрационный поток, являясь формой движения подземных вод, формируется под влиянием внешних граничных условий, а также зависит от внутренней неоднородности области фильтрации. Для Кузнецкого бассейна, как резервуара трещинных вод, характерна резкая фильтрационная неоднородность, выраженная как в разрезе, так и в плане. Гидродинамические условия Кузбасса формируются под влиянием ряда природных и антропогенных факторов. Действие последней группы воздействий на объекте исследования незначительно, поскольку район Тутуянской мульды практически не затронут хозяйственной деятельностью ввиду большой глубины залегания здесь продуктивных угленосных толщ. Угледобывающие предприятия расположены лишь по периметру восточной и западной границ. Поэтому при обосновании гидрогеологической модели Тутуянской мульды, описываются естественные условия формирования фильтрационных потоков, а формирование режима фильтрации при планируемом воздействии угольнометанового промысла является предметом настоящего исследования.

В целом, общие закономерности гидрогеологических условий Кузбасса, изложенные в третьей главе, актуальны для разреза Тутуянской мульды, являющейся структурным элементом бассейна. Исключением здесь можно считать зону аномально высокой проницаемости пород водоносного комплекса юрских отложений, которая выявлена в приустьевой части долины реки Тутуяс при поисках месторождений пресных подземных вод [31, 32]. Помимо условий питания и разгрузки, определяющих режим верхней границы гидросферы, формирование фильтрационных потоков определяется особенностями области фильтрации, строение которой для района Тутуянской мульды подробно рассмотрено во второй главе. В настоящем разделе следует уделить внимание ключевым особенностям, определяющим фильтрационную неоднородность.

Все коренные породы литифицированы и поражены региональной системой трещин диагенетического и тектонического происхождения. Интенсивность и открытость трещин неравномерна по глубине и по площади и определяется напряженно-деформированным состоянием массива пород. Верхняя часть разреза, на основе данных региональных исследований, характеризуется более развитой открытой трещиноватостью до глубины 100 - 150 м. Этот фактор оказывает определяющее влияние на формирование гидродинамических условий региона, а в сочетании с глубиной вреза речной сети, обуславливает вертикальную гидродинамическую зональность. Открытость трещин, а, следовательно, и проницаемость пород, имеет тенденцию к затуханию с глубиной. В результате региональный гидрогеологический разрез отчётливо разделяется на интервалы с различной интенсивностью циркуляции подземных вод: зоны активного, замедленного и весьма замедленного водообмена.

Таблица 4.1 Вертикальная гидродинамическая зональность.

Зона водообмена	Мощность, м	Глубина распространения, м	Отрытая пористость пород, %	Коэфф. фильтрации Кф, м/сут	Минерализация, г/л	Тип вод
Активного	50-150	до 150	до 40	до 70	0,4-1	HCO ₃ -Ca
Замедленного	≈2000	до 2000	2-10	0,001-0,4	0,7-8	HCO ₃ -Na
Весьма замедленного	н.д.	более 2000	1,5-3	н.д.	> 10	Cl-Na

Наиболее полно изучена верхняя зона активного водообмена, подземные воды которой находятся в тесной гидравлической связи с климатическими факторами и гидрографической сетью. Влияние водных объектов поверхности оказывает определяющее воздействие на формирование фильтрационных потоков данной зоны. В результате направленного массопереноса подземными водами, наложенного на исходную тектоническую и диагенетическую трещиноватость, в верхней гидродинамической зоне сформирована выраженная фильтрационная неоднородность пород по площади. Зависимость проницаемости скальных пород в зоне активного водообмена от высотного положения точки наблюдения доказана в работах ряда исследователей подземных вод Кузбасса и положена в основу методики морфоструктурно-гидрогеологического анализа.

Гидрогеологические факторы формирования фильтрационной неоднородности проявляются в следующих процессах (по Рогову) [15, 74]:

1. При инфильтрации атмосферных вод на водораздельных площадях, происходит перенос подземными водами взвешенных тонкодисперсных частиц из покровных отложений в коренные. Это приводит к кальматации трещин и существенно снижает проницаемость коренных пород на участках водоразделов.

2. По мере движения потока подземных вод к областям разгрузки в долинах, происходит интенсивное взаимодействие пресных вод с вмещающими породами, которое сопровождается выносом минерального вещества. Это приводит к расширению трещин и повышает проницаемость коренных пород в долинах рек.

3. На нижней границе зоны активного водообмена происходит резкая смена гидрогеохимической обстановки, способствующая активному образованию вторичных минералов. Это приводит к цементации и без того затухающей системы трещин и обуславливает гидродинамическое обособление зон активного и замедленного водообмена.

Зона замедленного водообмена, изученная в меньшей степени, отличается существенным снижением проницаемости пород относительно вышележащей зоны. Анализ изменения коэффициента фильтрации на разных участках (рисунок 4.2), позволяет судить о закономерном затухании проницаемости пород с глубиной опробования. Для зоны замедленного водообмена не характерно влияние климатических условий, градиенты напоров подземных вод здесь снижаются и, в ненарушенных условиях, скорость фильтрации измеряется в геологическом масштабе времени. Фильтрационная неоднородность зоны замедленного водообмена определяется тектоническими, литолого-стратиграфическими и гидрогеологическими факторами. Результаты опробований показывают повышенную проницаемость угольных пластов и песчаников на фоне аргиллитов и алевролитов, содержащих тонкодисперсные частицы.

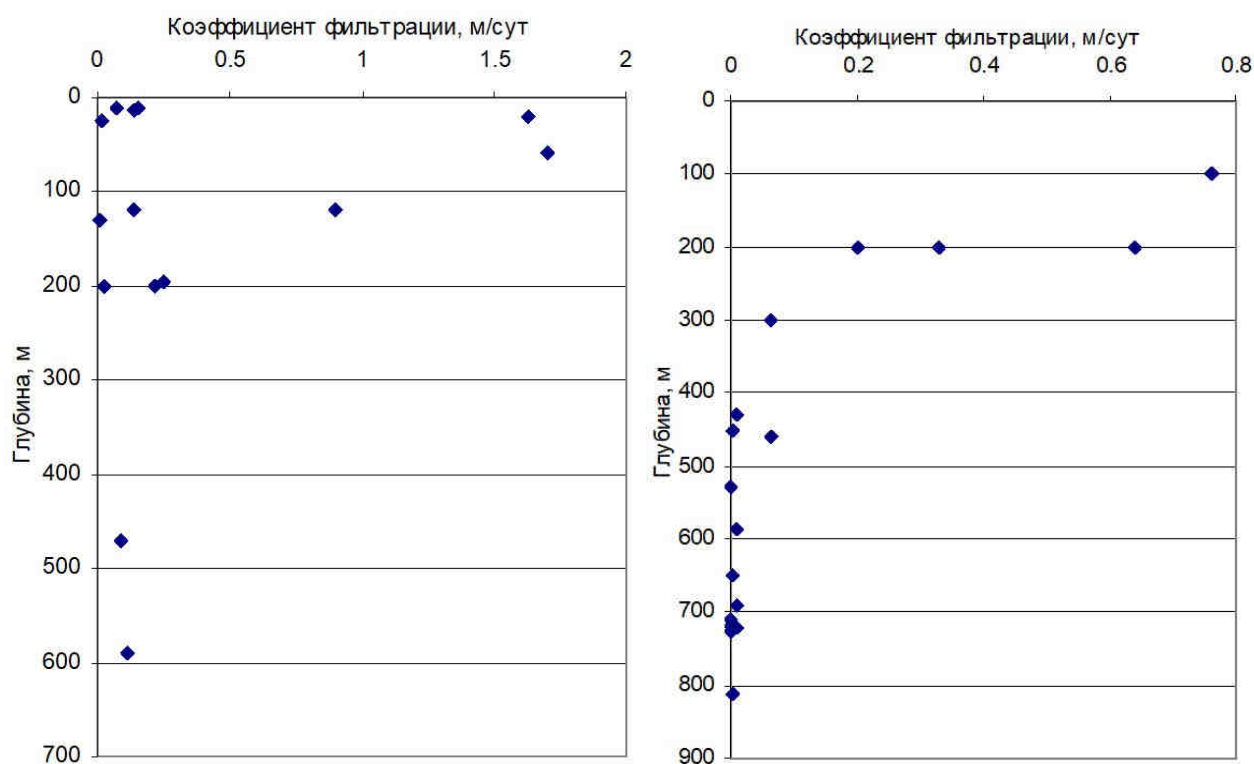


Рисунок 4.2. Изменение коэффициента фильтрации с глубиной по данным опытных работ в Томь-Усинском районе [54].

Зона весьма замедленного водообмена практически не изучена, отдельные данные позволяют судить о сопоставимых значениях проницаемости пород с вышележащей зоной замедленного водообмена. Ключевое отличие состоит в

существенном повышении минерализации и изменении состава подземных вод, что свидетельствует об уменьшении скорости фильтрационного потока и установлении режима подземных вод близкого к застойному. В целом, гидрогеохимическая зональность коррелирует с гидродинамической, что выражено в увеличении общей минерализации по мере замедления водообмена. Величина минерализации подземных вод является одним из косвенных показателей скорости фильтрации, что позволяет использовать данные о составе подземных вод при оценке закономерностей формирования фильтрационных потоков.

Подземные воды Тутуянской мульды находятся в непрерывном движении от областей питания к участкам разгрузки, при этом скорость и направление фильтрации неравномерны по глубине и площади структуры. Ведущим фактором, определяющим направление фильтрационных потоков, является рельеф дневной поверхности. Перепад абсолютных высот в районе достигает 400 м на фоне сильной эрозионной расчленённости рельефа, что обуславливает высокие начальные градиенты потоков подземных вод, которые, тем не менее, с глубиной существенно снижаются.

4.2. Типизация гидрогеологических условий

Рациональность типизации гидрогеологических условий является определяющим условием построения оптимальной модели. Под типизацией понимают гидрогеологическое районирование объекта с целью выявления участков с типовыми гидродинамическими условиями и определения их положения в пространстве [75]. Критериями выделения типовых элементов являются особенности движения подземных вод, виды граничных условий, условия залегания и строение водовмещающих пород. Типовые структурные элементы характеризуются схожестью условий формирования подземных вод, их режима и баланса. По выраженности и характеру тех или иных факторов водообмена определяются типовые районы и участки, а по условиям – их функциональные особенности. На этапе типизации разрабатывается наиболее

вероятный сценарий формирования фильтрационных потоков в пределах объекта исследований, определённый из общего анализа региональных гидрогеологических условий.

Типизация гидрогеологических условий производится с целью установления ведущих гидрогеодинамических факторов (граничных условий), а также для определения характера и степени их выраженности в пространстве исследуемой гидрогеологической системы. В результате типизации будет получена общая гидродинамическая характеристика объекта, включающая перечень типовых структурных элементов и схемы их расположения в пространстве. Данный этап необходим для определения структуры гидрогеологической модели объекта и обоснования методики дальнейших исследований.

4.2.1. Выделение структурных элементов

Ведущие факторы гидрогеологических условий определены в процессе анализа региональных условий движения подземных вод, выполненном в предыдущем разделе настоящей главы. К ним относятся условия питания и разгрузки подземных вод, а также внутреннее строение области фильтрации. Применительно к выделенным объектам, внешними структурными элементами являются речные долины, водораздельные хребты и их склоны, которые определяют режим подземных вод в зоне активного водообмена. Внутренние элементы гидродинамической структуры определяются рядом факторов, формирующих фильтрационную неоднородность.

Типизация области фильтрации в трещиноватых коллекторах проблематична. Для гидрогеологических условий Тутуянской мульды и Кузбасса в целом, основной формой неоднородности является выраженная гидродинамическая зональность, определяющая изменение интенсивности водообмена в разрезе. В то же время, фильтрационная неоднородность водовмещающих пород определяется и литолого-стратиграфическим строением, а также стадией и направленностью взаимодействия пород с подземными водами.

Таким образом, перечень типовых структурных элементов области фильтрации по общности гидродинамических условий определяют одновременно гидрогеологическая стратификация, а также вертикальная и латеральная гидродинамическая неоднородность.

Поскольку задачи настоящей работы предусматривают исследование техногенных воздействий на гидросферу района, то помимо природных объектов в числе структурных гидродинамических элементов рассматриваются водозаборные и угольнометановые скважины. В результате структурного анализа гидрогеологических условий Тутуянской мульды составлен минимальный перечень элементов (Таблица 4.2), достаточный для целей моделирования.

Таблица 4.2 Элементы гидродинамической структуры модели.

Зона водообмена	Элементы	
	Внешние	Внутренние
Активного	Водоразделы локальные	Водоразделы
	Водотоки	Склоны
	Рельеф	Долины
	Нижняя граница	Скважины водозаборные
	Периметр модели	
Замедленного	Водоразделы региональные	Тектонические нарушения
	Верхняя граница	Зоны цементации пород
	Нижняя граница	Зоны дробления
	Периметр модели	Скважины угольнометановые

Водоразделы, склоны и долины, хотя и являются типичными элементами рельефа, однако для лифицированных отложений Кузбасса они же выступают определяющим признаком фильтрационной неоднородности в пределах верхней гидродинамической зоны, что неоднократно отмечалось в ряде работ [12, 14, 76, 77]. Связь гидрогеологических параметров с формами рельефа позволяет применять морфоструктурно-гидрогеологический анализ [78] для определения положения гидродинамических элементов в пространстве модели зоны активного водообмена.

4.2.2. Определение пространственного положения элементов

Для того чтобы задать корректное положение структурных элементов в пространстве гидродинамической модели, необходимо проанализировать определяющие условия, которые принципиально различаются для разных гидродинамических зон. Так, гидродинамическая структура зоны активного водообмена, сформированная в условиях прямой гидравлической связи подземных вод с водными объектами на земной поверхности, определяется взаимным расположением внешних границ, приуроченных к гидрографической сети и водораздельным линиям. В свою очередь, на гидродинамическую структуру зоны замедленного водообмена в большей степени оказывают влияние литолого-стратиграфические и тектонические условия, а также последствия взаимодействия пород с подземными водами.

Определение пространственного положения внешних гидродинамических границ выполняется на основании морфоструктурно-гидрогеологического анализа, исходными данными для которого являются картографические материалы соответствующей детальности. В данной работе в качестве топографической основы применяется свободно распространяемая цифровая модель рельефа (ЦМР) SRTM [79].

SRTM – топографическая съемка поверхности земного шара, произведенная радиолокационными сенсорами. Аббревиатура SRTM расшифровывается как Shuttle Radar Topographic Mission, в переводе: «спутниковая радарная топографическая миссия». Данные SRTM представляются в виде растровых файлов, каждому пикселю которого соответствует значение абсолютной высоты рельефа. Файлы ЦМР имеют геопространственную привязку, что позволяет импортировать их в ГИС для дальнейшей обработки. Максимальная плотность съёмки SRTM составляет 90 м, что соответствует детальности картирования в масштабе 1: 50 000. Разумеется, моделям рельефа по данным спутникового зондирования присуща высокая погрешность, однако для задач морфоструктурного гидрогеологического анализа их точность вполне достаточна.

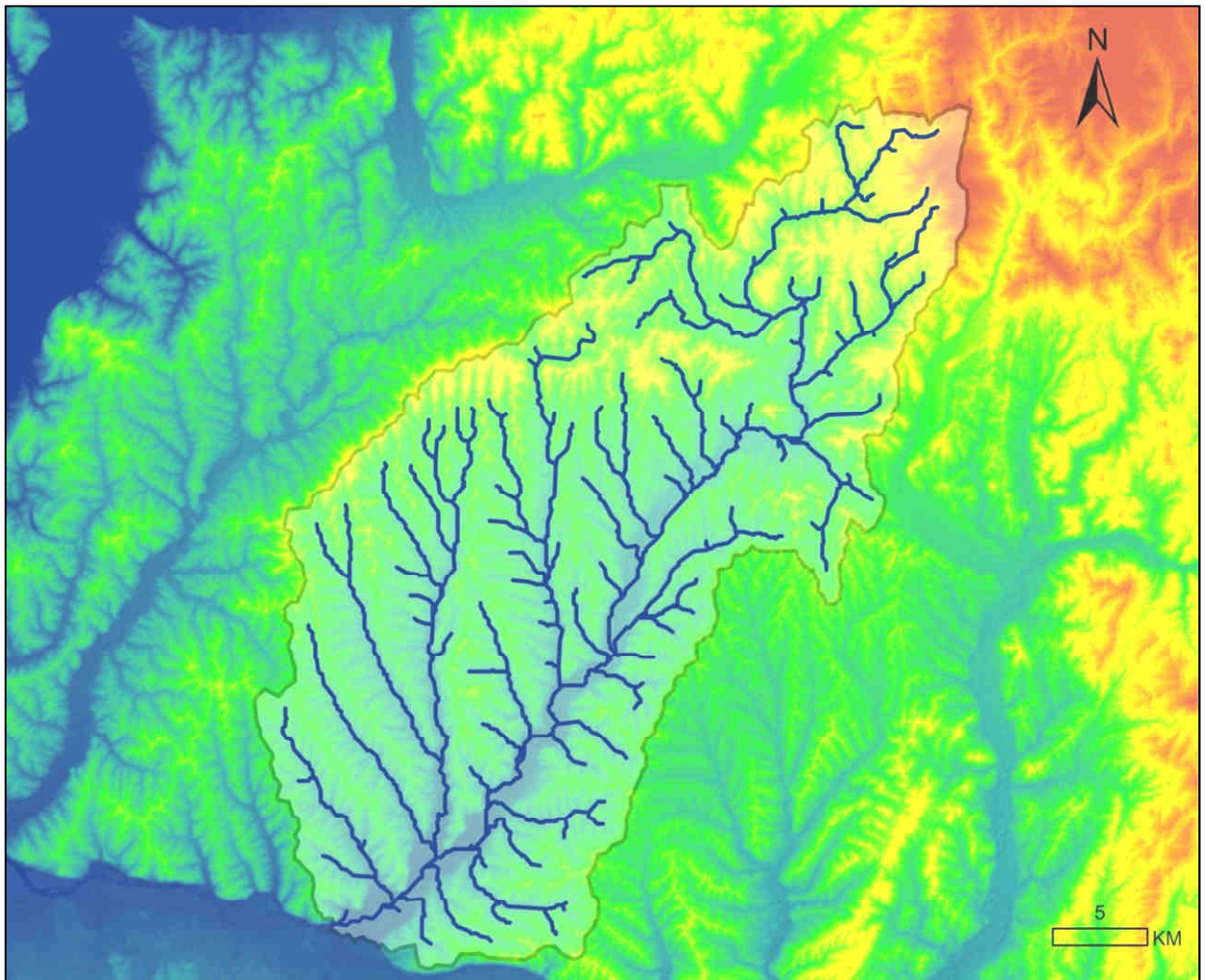


Рис. 4.3. Трассировка гидрографической сети бассейна реки Тутуяс по данным ЦМР SRTM.

Площадь Тутуясской мульды дренируется бассейнами рек Абашева, Тутуяс и Ольжерас, а также мелкими правобережными притоками Томи. Наиболее представительным является бассейн реки Тутуяс, ввиду его значительной площади, практически полностью принадлежащей изучаемой структуре. В этой связи рассмотрение гидродинамических условий зоны активного водообмена для Тутуясской мульды целесообразно проводить в границах бассейна реки Тутуяс, подразумевая, что в пределах бассейнов соседних рек, дренирующих изучаемую структуру, условия будут аналогичны.

Гидродинамическое районирование Тутуясского бассейна выполнено путём анализа цифровой модели рельефа района инструментами гидрологического анализа из пакета Spatial Analyst в программном комплексе ArcGIS. Результаты работы представлены на рисунке 4.3, где на двумерной графической

интерпретации ЦМР отражены границы бассейна и его гидрографическая сеть. Полученные данные сохранены в универсальном для геоинформационных систем формате, что позволяет в дальнейшем экспортировать их в программное обеспечение гидрогеологического моделирования для параметрического наполнения гидродинамических моделей. Процесс районирования бассейна реки Тутуяс проиллюстрирован на рисунке 4.4. Погрешности инструментальной трассировки редактировались вручную.



Рис. 4.4. Выделение структурных элементов в пределах водосборного бассейна реки Тутуяс (площадь водосборного бассейна отмечена салатовой заливкой; правобережные притоки показаны сплошными серыми линиями; локальные водоразделы показаны белым пунктиром).

Внутреннее строение зоны активного водообмена определяется элементами фильтрационной неоднородности, которые в свою очередь коррелируют с формами рельефа, что неоднократно обсуждалось в настоящей работе. Следовательно, на этапе определения элементов внутреннего строения зоны активного водообмена, также применим морфоструктурно-гидрогеологический анализ.

Согласно данным ранее выполненных исследований (Рогов, Соломко, Плевако, Макушин), показатели проницаемости пород зоны активного водообмена в Кузбассе возрастают по направлению от водораздельных линий к водотокам практически в геометрической прогрессии (Рис. 3.12). Данное свойство позволяет выполнить районирование бассейна реки Тутуяс по проницаемости пород зоны активного водообмена на основании анализа поверхности рельефа инструментами ArcGIS. В качестве топографической основы, как и на предшествующем этапе, использована цифровая модель рельефа SRTM.

Задача районирования: выявить типовые элементы фильтрационной неоднородности пород зоны активного водообмена в пределах бассейна реки Тутуяс. Для её решения были приняты следующие принципы:

1. Характерными элементами рельефа, определяющими положение участков с различной проницаемостью, являются водораздельные хребты, речные долины и склоны.

2. Для упрощения структуры модели целесообразно разделить область фильтрации на типовые участки с близкими значениями проницаемости пород, соответствующие вышеперечисленным элементам рельефа.

3. При построении базисных поверхностей, определяющих границы типовых участков, целесообразно пренебречь такими элементами рельефа, как овражная сеть и водотоки младших порядков, которые избыточно осложняют контуры границ.

Районирование осуществлено путём расчленения модели рельефа геопространственными фигурами, соответствующими базисной поверхности водотоков 3-го порядка, приподнятой над естественным положением на

определённые интервалы высот. Так, оконтуривание речных долин производилось по линии пересечения модели рельефа с приподнятой на 10 м базисной поверхностью. Контур вершин водоразделов определялся поднятием базисной поверхности на 200 м. Полученная в результате схема районирования бассейна реки Тутуяс представлена на рисунке 4.5.

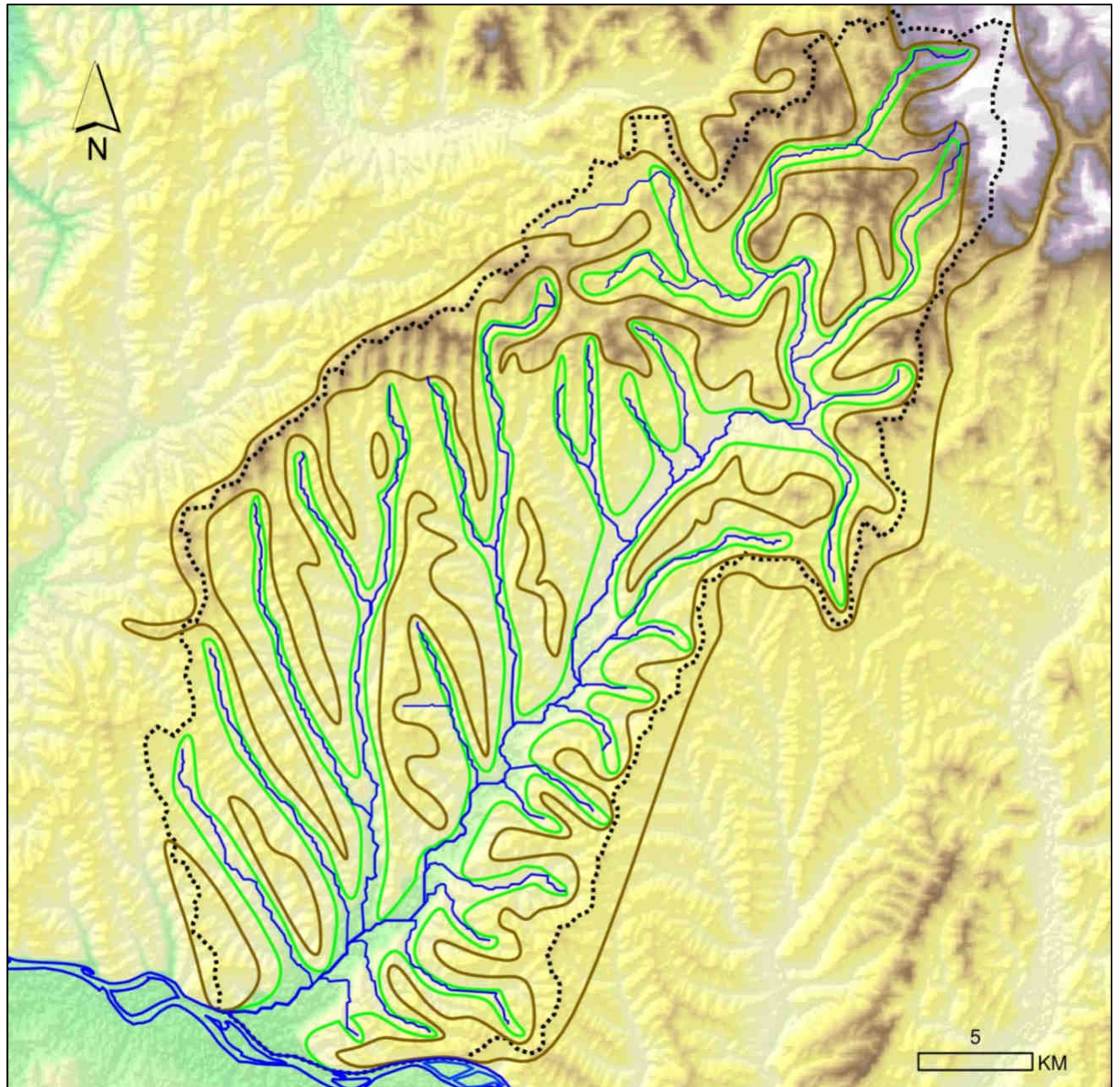


Рис. 4.5. Морфоструктурное районирование бассейна реки Тутуяс. Чёрный пунктир – контур бассейна реки Тутуяс; коричневая линия – контур водораздельных площадей; зелёная линия – контур долин основных водотоков; синяя линия – гидрографическая сеть.

Итак, формы внутренних элементов гидродинамической модели для зоны активного водообмена коррелируют с положением водоразделов, склонов и речных долин. С помощью морфоструктурного анализа определено их взаимное расположение на площади бассейна реки Тутуяс. Диапазон значений фильтрационных параметров для выделенных структурных элементов будет изучаться на этапе схематизации.

Режим подземных вод зоны замедленного водообмена в меньшей степени зависит от водных объектов поверхности, влияние которых затухает с глубиной по мере роста фильтрационного сопротивления пород. Скважины на угольный метан вскрывают угленосные толщи с промышленными запасами газа, которые залегают ниже зоны газового выветривания мощностью 300-500 м от поверхности. Глубина залегания газоносных угольных пластов в осевой части Тутуяской мульды будет существенно больше ввиду структурных особенностей, рассмотренных во второй главе. Таким образом, в контексте изучения режима фильтрации при эксплуатации угольнометановых скважин, учёт сложных гидродинамических функций внешних границ видится нецелесообразным ввиду значительной глубины заложения скважин. Тем не менее, данное предположение нуждается в апробации на численных гидрогеологических моделях.

Область фильтрации в пределах зоны замедленного водообмена следует принять неограниченной в плане. Это обусловлено относительно выдержанным слоистым строением пермских угленосных отложений и перекрывающих их юрских осадков при отсутствии выраженных вертикальных границ в данных многопластовых коллекторах. Определённую проблему при моделировании зоны замедленного водообмена представляет типизация граничных условий, соответствующих кровле и подошве области фильтрации, поскольку в строении мощной угленосной молассы, заполняющей Кузнецкий прогиб, отсутствуют выдержанные водоупорные горизонты. Зона замедленного водообмена охватывает разрез в интервале между зонами активного и весьма замедленного водообмена, соответственно, подошва вышележащей зоны служит верхней гидродинамической границей для нижележащей. Однако в процессе решения

задач о развитии режима фильтрации при извлечении метана из угольных пластов, строить численную модель для всей зоны замедленного водообмена нецелесообразно. Согласно данным, приведённым в третьей главе, мощность данной зоны может превышать 2000 м, что вызовет чрезмерное усложнение и ресурсоёмкость модели. В этой связи возникает необходимость исследования потенциала влияния угольнометановых скважин в геолого-гидрогеологических условиях Тутуянской мульды не только в плане, но и в разрезе угленосной толщи. На основании полученных оценок диапазон внешних границ области фильтрации может быть сужен до размеров, адекватных рассматриваемым гидродинамическим процессам.

Внутреннюю гидродинамическую структуру зоны замедленного водообмена формируют элементы фильтрационной неоднородности водовмещающих пород, тектонические нарушения и скважины угольнометанового промысла. Поскольку на момент написания работы строительство или проектирование газопромысловых скважин ещё не начато, возможное их расположение является случайным параметром, что даёт основание для оптимизации схемы размещения технических площадок на площади Тутуянской мульды с точки зрения гидрогеологических условий. Глубина скважин также в настоящий момент является неизвестной и определяется условиями залегания газоносных пород и схемой их освоения. В любом случае, минимальная глубина скважин определяется положением кровли угленосной толщи и в тоже время положением нижней границы зоны газового выветривания, которые зависят от геолого-структурных и газодинамических условий, вследствие чего неодинаковы по площади Тутуянской мульды. Максимальная глубина скважин определяется экономической целесообразностью проходки и освоения, поскольку данные исследований состава газов показывают наличие метана в угленосных отложениях в интервалах глубин от 300 м до 2 км и более (скважина «Томская Глубокая»).

4.3. Гидродинамическая схематизация

Схематизация природно-техногенных условий для целей гидрогеологического моделирования состоит в определении режима, пространственной структуры и характеристик области фильтрации, граничных и начальных условий. В процессе схематизации производится обоснованное упрощение природных и техногенных условий объекта с целью параметрического обеспечения исследования применительно к поставленным задачам и выбранным методам. В результате предметного анализа физико-географических условий, геологического строения и гидрогеологических характеристик района, определяются основные гидродинамические параметры, которые сводятся к минимальному перечню, достаточному для разработки гидрогеологических моделей различных объектов воздействия на подземные воды.

Схематизация гидродинамических условий Тутуянской мульды выполняется на основе материалов полевых работ с участием автора [80, 81], с учётом опубликованных данных предшествующих исследований [8, 23, 25, 28, 31, 32, 51, 82, 83]. Изучены данные из литературных источников [14–16, 84], научных публикаций [47, 74, 85], производственных отчётов. Проанализированы результаты разведочных работ на уголь, угольный метан и подземные воды в Ерунаковском, Тутуяском и Томь-Усинском промышленных районах. Ценный материал получен из диссертационных исследований прежних лет [7, 11, 17, 18, 86]. В основу методики положены базовые принципы динамики подземных вод [64, 66, 87]. Основным интерес в контексте настоящей работы представляют данные гидродинамических опробований.

Декомпозиция области фильтрации до совокупности элементов гидродинамической схемы выполнена в следующей последовательности:

1. Выделение структурных элементов области фильтрации;
2. Оценка обобщённых характеристик элементов, определение диапазона и средних значений для каждого параметра;
3. Определение граничных и начальных условий для каждого элемента.

4.3.1. Анализ неоднородности области фильтрации

В контексте изучения гидрогеологических условий добычи метана из угольных пластов, рассматриваются средний и верхний структурные этажи отложений бассейна. Они представляют, собственно, угленосную толщу, смежные и вышележащие породы. Неоднородность области фильтрации обусловлена в основном геологическим строением и тектоническими условиями, существенное влияние оказывают также процессы массопереноса и взаимодействия подземных вод с вмещающими породами. Для определения закономерностей и диапазона изменения фильтрационных параметров проведён анализ неоднородности недр на основании прямых и косвенных данных.

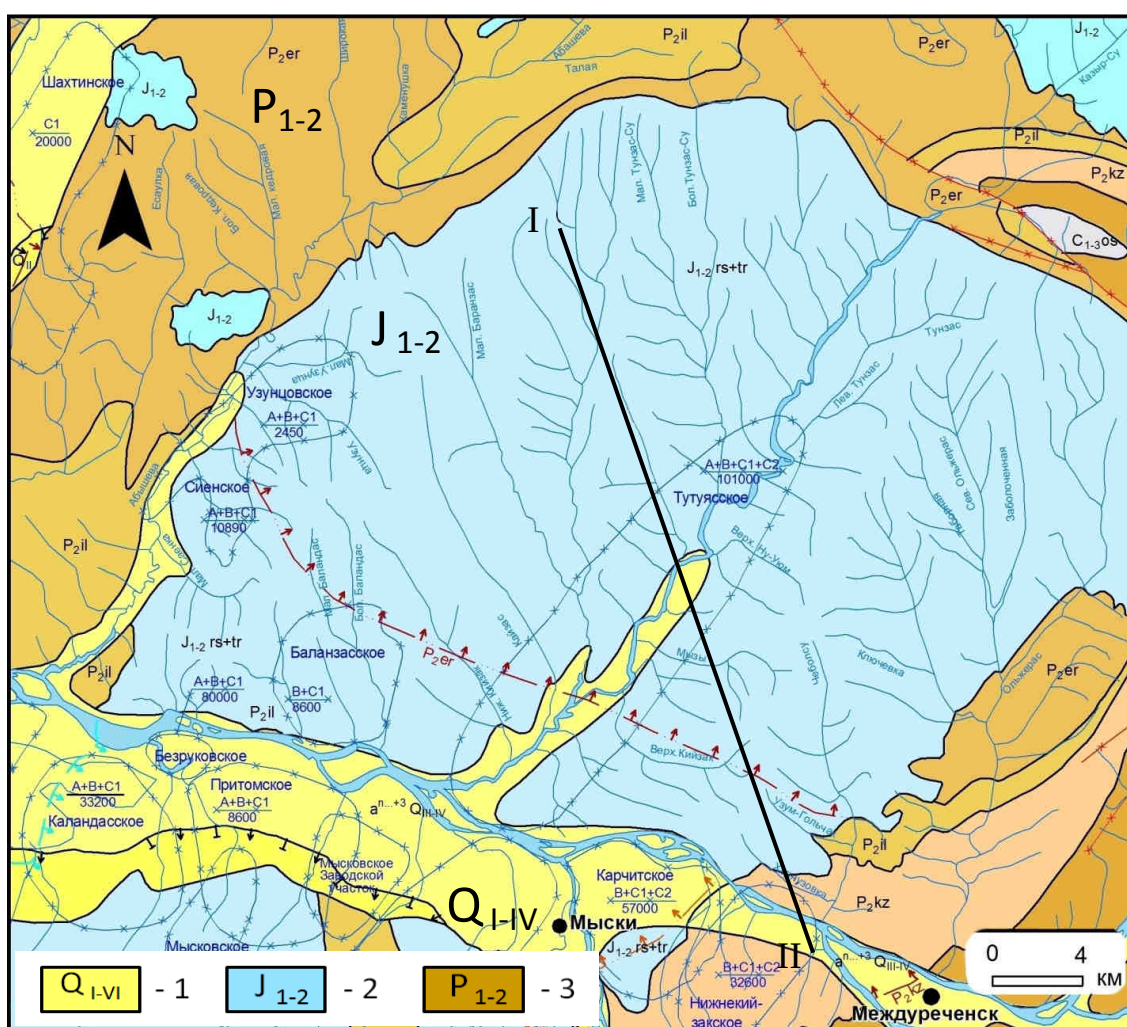


Рис. 4.6. Гидрогеологическая карта района Тутуянской мульды [88].

1 – водонасыщенный комплекс четвертичных отложений; 2 - водонасыщенный комплекс юрских отложений; 3 - водонасыщенный комплекс пермских отложений; I-II – линия гидрогеологического разреза (рисунок 4.7).

Рассмотрим геологическое строение и литологический состав водовмещающих пород как факторы формирования фильтрационной неоднородности. В районе Тутуянской мульды перспективными на угольный метан являются верхнепермские (P_2) угленосные отложения кольчугинской серии [82], слагающие средний структурный этаж. В свою очередь, кольчугинская серия подразделяется на ильинскую (P_{2il}) и ерунаковскую (P_{2er}) подсерии и свиты. Общая мощность угленосной толщи здесь превышает 2000 м, а суммарная мощность пластов угля достигает 320 м. Отложения, слагающие верхний структурный этаж Тутуянской мульды, не вмещают газоносных пород. Тем не менее, в контексте настоящей работы они важны как элементы гидродинамической структуры, поскольку перекрывают угленосную толщу на всей площади мульды. Верхний структурный этаж сложен юрскими (J_{1-2}) и четвертичными (Q) аллювиальными и покровными отложениями. Мощность юрских отложений в центральной части Тутуянской мульды достигает 800 м. Мощность четвертичных отложений не превышает первые десятки метров.

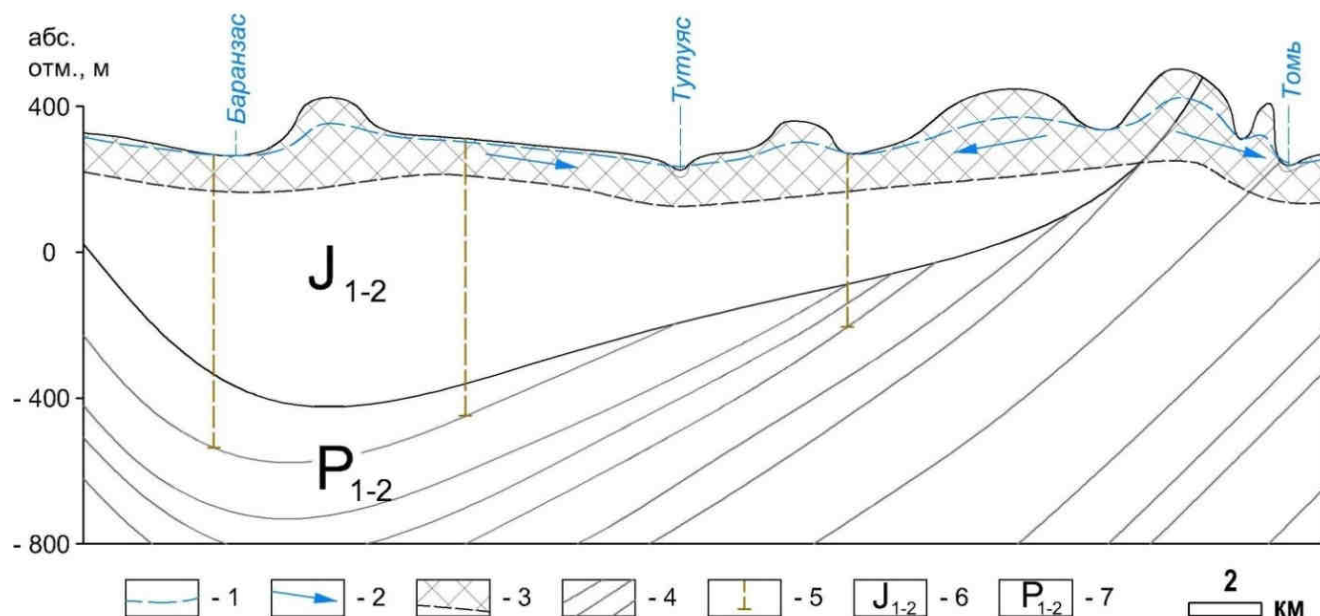


Рис. 4.7. Гидрогеологический разрез Тутуянской мульды I-II.

1 – уровень подземных вод; 2 – направление фильтрации; 3 – зона активного водообмена; 4 – угольные пласты; 5 – проектируемые скважины на угольный метан; 6 – водоносный комплекс юрских отложений; 7 – водоносный комплекс пермских отложений.

Литологический состав кольчугинской серии представлен песчаниками, алевролитами, агриллитами и углём. Наибольшим распространением пользуются алевролиты (до 60%) и песчаники, занимающие до 24% разреза. Литологические разности непостоянны, их состав и мощности варьируются как в разрезе, так и по площади.



Рис. 4.8. Строение толщи угленосных отложений [89]. Угольные пласты имеют чёрный цвет, алевролиты и аргиллиты – серый, песчаник – желтый.

Текстура угленосных отложений также весьма разнообразна. Относительно выдержаны слои песчаников, мощность которых достигает 50 м. Толща песчаников характеризуется косой или косоволнистой слоистостью. Алевролиты обладают тонкой косой или горизонтальной слоистостью. Аргиллиты имеют слабовыраженную горизонтальную слоистость и слагают слои небольшой мощности, как правило, приуроченные к поверхностям угольных пластов. Угольным пластам свойственны сложные геометрические формы: выклинивание, ветвление и слияние, которые проявляются на больших расстояниях и существенны в региональных масштабах. Угольные пласты имеют выраженную

существенно отличаются от подстилающих их пермских в большую сторону. В разрезе юры преобладают конгломераты и песчаники, ближе к подошве толщи встречаются невыдержанные пласты бурых углей. Проницаемость толщи также неравномерна, а фильтрационная неоднородность подчиняется общим закономерностям, свойственным коренным отложениям Кузбасса.

Отложения четвертичного возраста (Q), в отличие от коренных, представлены рыхлыми фациями осадков речных долин, эрозионных покровов и коры выветривания. Последние, как правило, принадлежат зоне аэрации и определяют условия инфильтрационного питания подземных вод. Отложения речных долин, напротив, участвуют в формировании условий разгрузки подземных вод в гидрографическую сеть. По результатам разведочных работ на нижнетутуянской площади [31], покровные отложения, хотя и характеризуются тонкодисперсным составом, но обладают высокой пористостью и обеспечивают благоприятные условия питания нижележащих водоносных комплексов, сглаживая сезонные колебания режима увлажнения.

Аллювиальные отложения представлены преимущественно крупнозернистым материалом и практически не вмещают глинистых частиц, особенно их русловые фации. В целом, отложения речных долин обладают весьма высокой проницаемостью, как и нижележащие юрские отложения, вследствие чего аллювий не создаёт существенного сопротивления для гидравлической связи рек с подземными водами зоны активного водообмена.

Для параметрического наполнения численных гидрогеологических моделей необходимо установить типичные значения фильтрационных параметров, присущих внутренним элементам гидродинамической структуры и оценить диапазон их изменения. Значения коэффициента фильтрации, проницаемости и водопроводимости, используемые в работе, получены из материалов гидрогеологических опробований, выполненных как на площади Тутуянской мульды, так и на сопредельных участках, которые в силу структурных особенностей характеризуются схожими гидрогеологическими условиями.

Таблица 4.3 Элементы геолого-гидрогеологического строения.

Водовмещающие отложения	Индекс	Мощность, м	Литологическое описание	Коэф. фильтрации Кф, м/сут.
Четвертичные	Q _{I-IV}	До 10	Гравийно-галечные отложения, пески	1 – 50
Юрские	J ₁₋₂	До 800	Конгломераты с прослоями песчаников и пропластками углей	0.01 – 70
Пермские	P ₁₋₂	Более 2000	Чередование песчаников, алевролитов, аргиллитов с угольными пластами	0.0001 – 1

В целом, распределение фильтрационных параметров по глубине, показанное на рисунке 4.2, вписывается в общую схему гидродинамической зональности, приведённую в таблице 4.3. Обращает внимание широкий диапазон изменения величин, что существенно осложняет задачу схематизации. Известно, что для Кузбасса распределение величин проницаемости в зоне активного водообмена объясняется рассмотренной выше морфоструктурно-гидрогеологической зависимостью. Для зоны замедленного водообмена в Кузбассе не известны закономерности фильтрационной неоднородности, поэтому в рамках данного этапа гидродинамической схематизации предстоит разработать рабочую гипотезу на основании данных актуальной изученности. Для этого обратимся к материалам исследования неоднородности угленосной толщи на значительных глубинах.

Наиболее представительно глубинное строение угленосных отложений района изучено в ходе проходки и опробования скважины «Томская Глубокая», которая расположена в юго-западной части Томь-Усинского района, в непосредственной близости от Тутуянской мульды. Согласно графикам, приведённым на рисунке 4.10, угленосные толщи в условиях зоны замедленного водообмена характеризуются волнообразным изменением значений проницаемости. При этом явная тенденция к затуханию проницаемости либо пористости пород с глубиной не прослеживается.

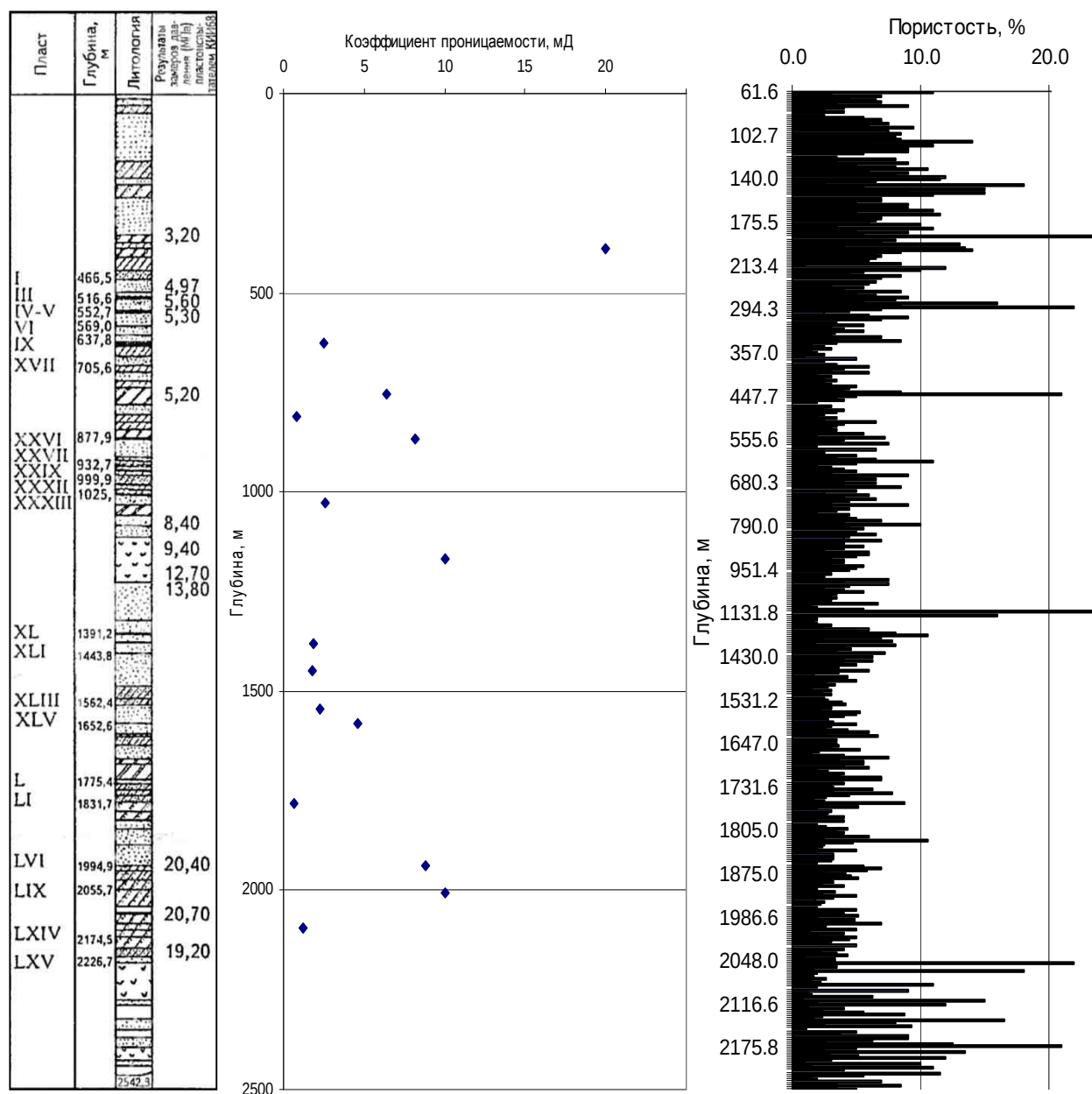


Рис 4.10. Результаты опробований скважины «Томская глубокая».

Слева направо: литологическая колонка, изменение проницаемости и пористости пород с глубиной.

Характер неоднородности обусловлен существенным разбросом величин активной пористости, а значит и проницаемости слагающих разрез литотипов. В результате проницаемость блока пород в зоне замедленного водообмена по вертикали существенно ниже, чем в направлении напластования литологических единиц. Соответственно, проницаемость разреза в вертикальном направлении контролируют слабопроницаемые (от 0,001 м/сут), а в субгоризонтальном – более проницаемые (до 0,04 м/сут) пласты [82, 91, 92]. Таким образом, разрез

угленосных отложений в зоне замедленного водообмена, представленный ритмичным переслаиванием аргиллитов, алевролитов, песчаников и угольных пластов, в предельно обобщённом виде может быть представлен однослойной толщей с неоднородной проницаемостью в разрезе и в плане. Согласно полученным выводам, развитие нарушенного режима фильтрации в угленосных толщах в зоне замедленного водообмена будет в большей степени зависеть от соотношения вертикальной и субгоризонтальной (приуроченной к поверхности напластования) компонент фильтрационной неоднородности.

В результате анализа закономерностей плановой и профильной вариации фильтрационных параметров в толще отложений Тутуянской мульды, составлена таблица 4.4. Распределение фильтрационных параметров в зоне активного водообмена по площади бассейна реки Тутуяс показано на рисунке 4.11. Обобщённые величины необходимы для параметрического обеспечения численных моделей на этапе предварительных геофильтрационных исследований.

Таблица 4.4 Обобщённые параметры области фильтрации.

Зона водообмена	Элемент	Коэффициент фильтрации $Kф$. От – до (в среднем), м/сут.	
		J_{1-2}	P_{1-2}
Активного	Нижнетутуясская площадь	10-70 (50)	-
	Долины	1-10 (5)	0,3-1 (0,5)
	Склоны	0,1-1 (0,5)	0,1-0,3 (0,2)
	Водоразделы	0,01-0,1 (0,05)	0,01-0,1 (0,05)
Замедленного	Эксплуатируемый пласт	-	0,001-0,04 (0,01)
	Толща смежных пород	0,01 по латерали	0,01 по латерали
		0,001 в разрезе	0,001 в разрезе

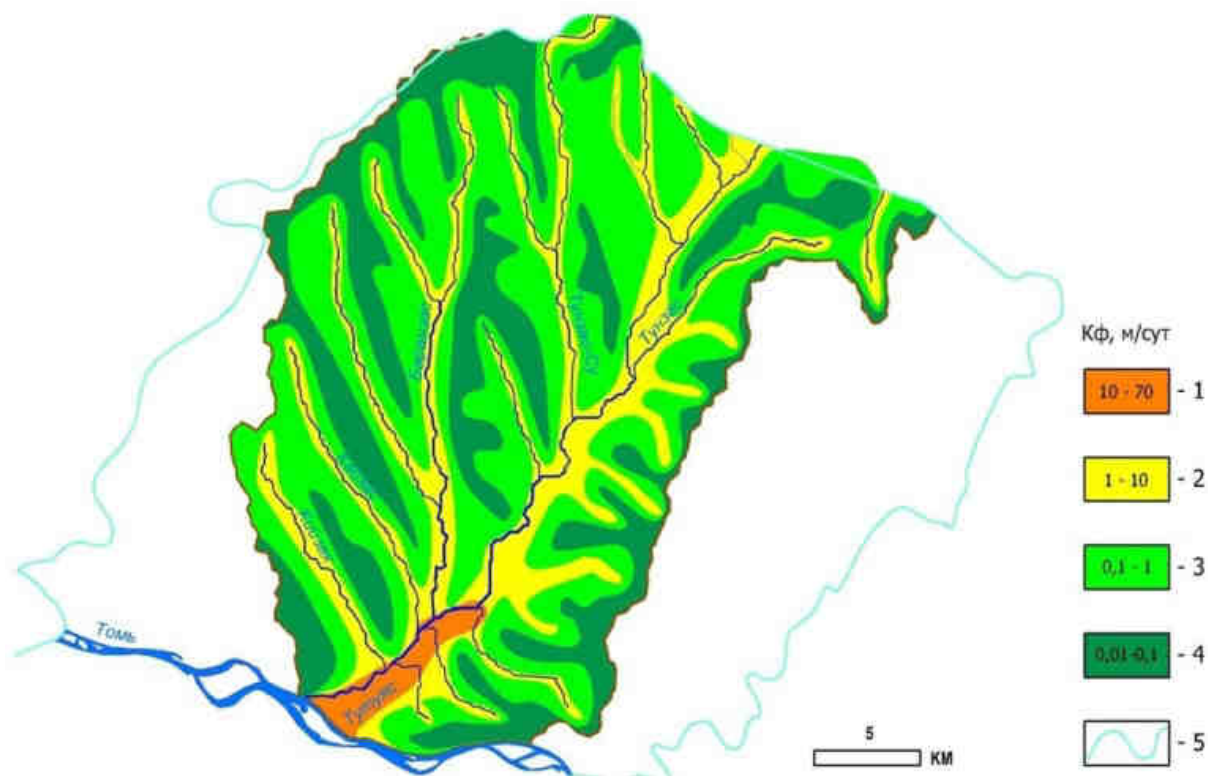


Рисунок 4.11. Схема фильтрационной неоднородности зоны активного водообмена на площади Тутуянской мульды в границах бассейна реки Тутуяс.

1 – Нижнетутуясская площадь; 2 – речные долины; 3 – склоны; 4 – площади водоразделов; 5 – контур Тутуянской мульды (граница распространения юрских отложений).

Районирование территории по фильтрационной неоднородности зоны активного водообмена выполнено на основании морфоструктурно-гидрогеологического анализа бассейна реки Тутуяс, описанного в разделе 4.2 данной работы.

Фильтрационная неоднородность зоны замедленного водообмена обусловлена рядом факторов, пространственное распределение которых в пределах Тутуянской мульды не изучено, а значит, на данной стадии исследований представляется случайным. Поэтому в рамках задач настоящей работы рассматривается закономерная составляющая фильтрационной неоднородности, связанная с литологическим строением изучаемой структуры и определяющая развитие нарушенного режима фильтрации относительно кровли и подошвы дренируемых угольных пластов.

4.3.2. Граничные и начальные условия

Внешние и внутренние границы области фильтрации определены на этапе типизации гидрогеологических условий как структурные элементы гидродинамической модели Тутуянской мульды и приведены в таблице 4.2. На этапе схематизации рассматриваются гидродинамические особенности этих границ, а их режим приводится к закономерному в соответствии с перечнем типовых граничных условий (таблица 4.5).

Понятие о начальных и граничных условиях является основой теории дифференциальных уравнений и определяет характер изменения искомой функции в начале процесса и на границах рассматриваемой области. Поскольку от заданных условий зависит решение дифференциального уравнения, то начальные и граничные условия можно считать неотъемлемым элементом задачи, обеспечивающим однозначность её решения. В практике гидрогеологического моделирования, основанного на математической идентичности процесса фильтрации с другими физическими процессами, рассматриваются общепринятые для решения задач динамики условия однозначности. В гидрогеологической практике математическому выражению граничных условий соответствуют определённые свойства элементов гидродинамической структуры объекта.

Таблица 4.5. Типовые граничные условия области фильтрации

Граничное условие	Математическое выражение	Гидродинамические условия
I	$H(t)=const,$ $H=f(t),$ $\Delta H=0,$	Граница, уровень которой не зависит от процесса фильтрации, например: колебание уровня воды в реке $H=f(t)$
II	$Q(t)=const,$ $Q=f(t),$ $\Delta Q=0,$ $W=f(t)$	Граница, на которой дебит воды не зависит от колебания уровня, например: эксплуатационная скважина $Q=f(t)$, водораздел ($Q=0$) или инфильтрационное питание грунтовых вод $W=f(t)$
III	$H = f(t),$ $Q=f(\Delta H)$	Граница, на которой дебит зависит от разности напора, например: слабопроницаемые осадки русла реки
IV	$H_1 = H_2, \Delta Q=0$	Граница сред с различной проницаемостью

Режим подземных вод подвержен периодическим колебаниям, которые особенно выражены в зоны активного водообмена. Данные колебания вызваны сезонными изменениями интенсивности увлажнения. Поле напоров подземных вод формируется под гидродинамическим влиянием внешних границ, которые соответствуют инфильтрационному потоку, речной сети, водоразделам и объектам техногенного воздействия на подземную гидросферу. В районе Тутуянской мульды избыточно увлажнённый климат и сильно расчленённый рельеф способствуют формированию интенсивного фильтрационного потока, который закономерно затухает с глубиной. Сумма годовых осадков в районе исследований достигает 750 мм, при среднем многолетнем значении 500 мм. На инфильтрационное питание по данным региональных наблюдений, приходится около 15% атмосферных осадков, а водоносный комплекс юрских отложений получает в течение года около 100 мм слоя воды по всей площади Тутуянской мульды. При этом литологическое строение зоны аэрации сглаживает сезонные колебания интенсивности увлажнения. Таким образом, верхний слой модели, соответствующий рельефу, может быть представлен границей II рода с постоянным расходом, имитирующим инфильтрационное питание.

Область фильтрации для зоны активного водообмена схематизирована как однослойная толща с зональным увеличением проницаемости от водоразделов к долинам. При задании периметра моделируемой области целесообразно воспользоваться границами с известными значениями напора и расхода фильтрационного потока, а также с конкретным положением в пространстве. Наиболее подходящими для этого являются граничные условия II-го или I-го (возможно III-го) рода (см. таблицу 4.5). Руководствуясь данными соображениями, периметр модели будет приурочен к границе водосборного бассейна и руслу реки Томь. Нижняя граница модели будет представлена условной поверхностью с нулевым расходом, которая соответствует границе гидродинамических зон.

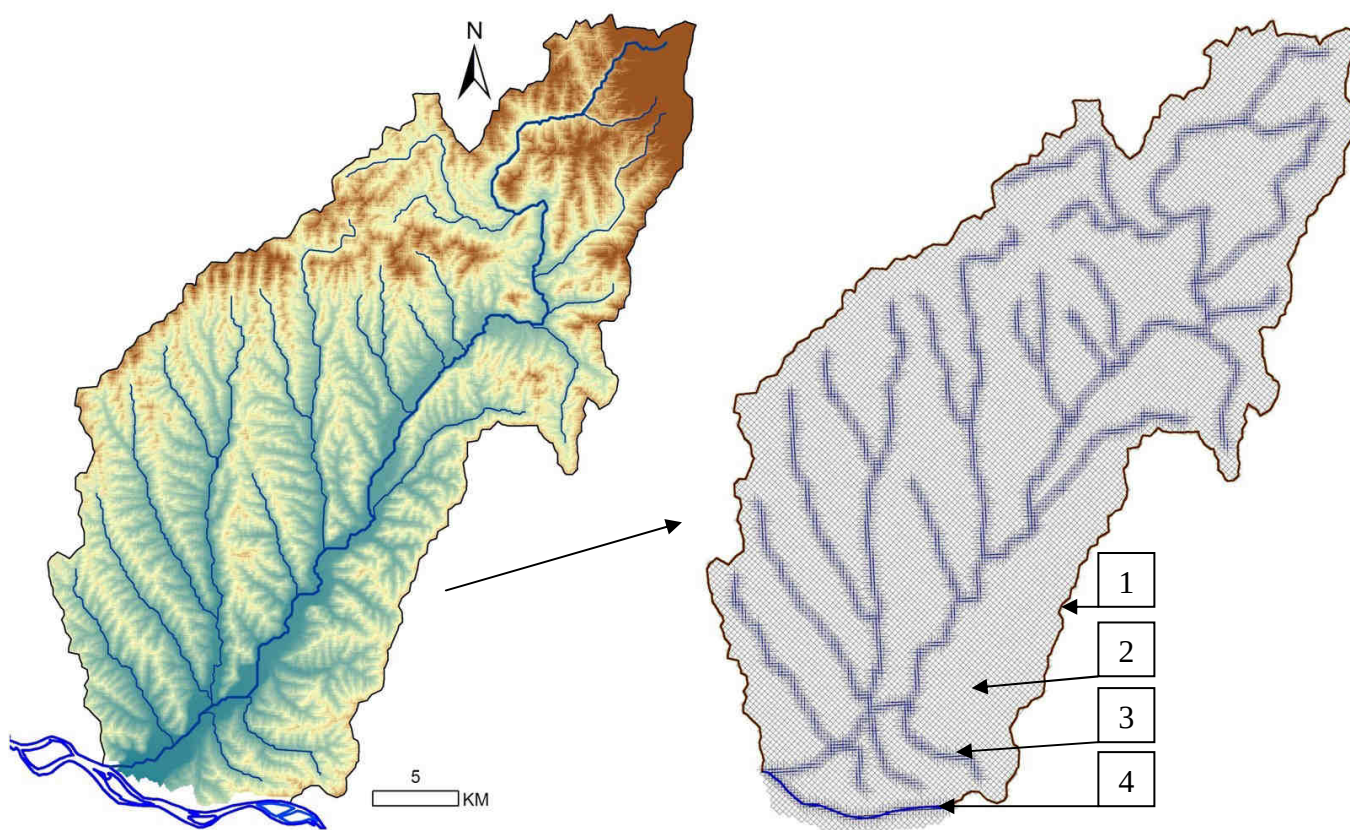


Рис. 4.12. Граничные условия модели на примере бассейна реки Тутуяс. 1 – граница II-го рода с нулевым расходом, соответствующая периметру бассейна; 2 – граница II-го рода с постоянным расходом, соответствующая рельефу местности с инфильтрационным питанием; 3 – граница III-го рода со стабильным напором и заданным сопротивлением русловых отложений, соответствующая основным водотокам бассейна; 4 – граница I-го рода с постоянным напором, соответствующая руслу реки Томь.

Пространственное положение границы гидродинамических зон активного и замедленного водообмена определено с помощью инструментария геоинформационной системы ArcGIS. Мощность зоны активного водообмена непостоянна, в пределах Тутуянской мульды она варьирует от 100 до 150 м, уменьшаясь под долинами рек и возрастая под водораздельными площадями. Таким образом, повторяя форму рельефа в сглаженном виде. На основании приведённых закономерностей, положение нижней границы зоны активного водообмена определено путём экстраполяции базисной поверхности 3-го порядка на 100 м вглубь по разрезу.

Для зоны замедленного водообмена, к которой приурочены метансодержащие угольные пласты, не характерно заметное влияние питающих гидродинамических границ, как в плане (из-за удаленности областей питания и разгрузки), так и в разрезе – ввиду наличия мощной толщи слабопроницаемых отложений, отделяющих дренируемый угольный пласт от зоны активного водообмена и поверхностных вод. В этой связи эксплуатируемую толщу правомерно схематизировать как бесконечную в плане и ограниченную в разрезе систему пластов. При моделировании гидродинамических процессов в зоне замедленного водообмена, периметр области фильтрации может быть задан границей I-го рода с постоянным напором, с условием, что влияние изучаемого процесса в процессе численного эксперимента не достигает границы. В конкретных случаях латеральная граница области фильтрации может быть задана по положению зоны тектонического нарушения с известными гидродинамическими свойствами.

Таблица 4.6. Граничные условия элементов гидродинамической модели

Зона водообмена	Элемент	Граничные условия: род ГУ, функция
Активного	Рельеф (верхняя граница)	II, $W = f(t)$
	Водоразделы (периметр)	II, $Q = 0$
	Водотоки	I или III, $H = f(t)$
	Скважины водозаборные	II, $Q(t) = \text{const}$
	Нижняя граница	II, $Q = 0$
	Периметр модели	II, $Q = 0$ или I или III
Замедленного	Верхняя граница	I или III, $H(t) = \text{const}$
	Водоразделы региональные	II, $Q = 0$
	Тектонические нарушения	II, $Q = 0$ или III, $H(t) = \text{const}$
	Скважины угольнометановые	II, $H(t) = \text{const}$
	Нижняя граница	II, $Q = 0$
	Периметр модели	I, $H(t) = \text{const}$

Предложенная схема гидродинамических условий месторождения угольного метана актуальна для разработки численных гидрогеодинамических моделей при решении, в первую очередь, разведочных задач по определению характера гидродинамического взаимодействия углеметановых скважин и оценки их возможного влияния на другие объекты гидросферы в природных условиях Тутуянской мульды. Приведённые обобщённые параметры области фильтрации и элементов гидродинамической структуры (Таблицы 4.4 и 4.6) допустимо использовать на стадии формирования концептуальных моделей месторождений подземных вод и участков дренирования угольных пластов.

Совокупность гидрогеологических условий объекта интерпретированы в формате логической (текстовое описание), знаковой (таблицы) и графической (карты и разрезы) гидрогеологических моделей.

Анализ физико-географических характеристик, геологического строения и гидрогеологических условий центральной части южного Кузбасса позволяет сформулировать принципы гидрогеодинамического моделирования Тутуянской мульды и обеспечивает следующие результаты:

1. Выделены ведущие режимообразующие факторы и условия их взаимодействия;
2. Определены актуальные для решаемых задач граничные и начальные условия;
3. Выявлены закономерности неоднородного строения области фильтрации и предложены способы интерпретации этой неоднородности в численных гидрогеологических моделях;
4. Составлен минимально-необходимый перечень элементов гидродинамической структуры и их характерных свойств.

Глава 5. Влияние добычи угольного метана на подземные воды Тутуяской мульды

В связи с тем, что добыча метана из угольных пластов сопряжена с извлечением пластовых вод на поверхность и их утилизацией после дегазации [93], угольнометановый промысел существенно нарушает естественный режим подземных вод. Особенности формирования нарушенного режима фильтрации при эксплуатации угольнометановых скважин зависят как от схемы дренирования угленосной толщи, так и от режима эксплуатации скважин, но в большей степени – от гидрогеологических условий района, которым присуща существенная региональная изменчивость. По этой причине унифицированный подход к оценке влияния данного промысла на подземные воды невозможен и для каждого региона необходим анализ функционирования промысловых скважин в уникальных гидрогеологических условиях, присущих конкретному месторождению или перспективной площади.

Обращение к опыту скважинной добычи метана показывает, что основной интерес исследователей направлен на изучение газодинамических свойств угленосных пород [94] и повышение эффективности их дегазации [95]. Существенное число публикаций посвящены изучению химического состава и свойств подземных вод на месторождениях угольного метана [4, 97, 98], данное направление исследований активно развивается также гидрогеологами томской школы [26, 28, 99]. Вопросы изучения гидродинамического влияния угольнометановых скважин освещаются в научной литературе не так широко, но в последние годы интерес к данной проблематике возрастает в контексте проблемы сохранения ресурсов пресных подземных вод [100, 101].

Помимо региональной изменчивости гидрогеологических условий, исследование гидродинамических аспектов добычи угольного метана осложняется относительно большой глубиной залегания газоносных угольных толщ. В этой связи проведение полного цикла опытно-фильтрационных работ не

является экономически целесообразным. Вследствие чего исследователи располагают, как правило, данными одиночных гидродинамических опробований глубоких разведочных и эксплуатационных скважин [80], а также результатами эксплуатации дренажных систем шахтных полей [49], которые не всегда могут быть однозначно интерпретированы с точки зрения распределения фильтрационной неоднородности в объёме дренируемого массива. Характерной особенностью гидродинамических опробований глубоких водоносных толщ является также значительная мощность интервалов опробования, которая зачастую составляет несколько сотен метров и позволяет определить величину водопроводимости для всего вскрытого интервала, что затрудняет оценку фильтрационной неоднородности в разрезе толщи. Перечисленные особенности газоносных угольных формаций определяют методику и последовательность исследования гидрогеологических аспектов добычи угольного метана.

В силу того, что Тутуясская площадь только намечена к освоению угольно-метановым промыслом в ближайшем будущем, настоящая работа соответствует предварительной стадии изучения гидрогеологических условий района. Как следует из введения, актуальность исследования продиктована вероятностью нежелательного воздействия со стороны промысла на уникальные запасы пресных подземных вод, разведанные на площади Тутуяской мульды ранее. Соответственно, в результате работы должны быть получены не только общие оценки гидрогеологических условий района, но и прогноз влияния скважинной добычи метана на пресные подземные воды региона. В этой связи, на заключительном этапе исследования решаются следующие задачи:

- выявление закономерности распространения возмущений в угленосной толще;
- определение условий взаимодействия промысловых скважин с гидродинамическими границами;
- определение условий формирования ресурсов Тутуяского месторождения подземных вод;
- оценка потенциала негативного воздействия на ресурсы пресных вод.

Для оценки особенностей влияния угольнометановых скважин на поле напоров подземных вод потребовалось детально изучить как гидрогеологические, так и сопряженные природные условия в пределах предполагаемой сферы взаимодействия. Описание актуальной изученности объекта приведено в первой главе настоящей работы, вторая глава посвящена рассмотрению факторов природных условий района, определяющих водообмен недр. Региональные закономерности движения подземных вод рассмотрены в третьей главе, тогда как четвертая посвящена детальному анализу условий движения подземных вод в пределах Тутуянской мульды. Весь перечисленный объем работ выполнен с целью параметрического обеспечения анализа гидрогеологических аспектов хозяйственной деятельности на заключительном этапе исследования. Обобщенные данные гидрогеологических условий Тутуянской мульды представлены в главе 4 в форме графической, логической и знаковой моделей.

Исследование воздействия угольнометанового промысла на подземную гидросферу выполняется путём гидрогеологического моделирования. Для оценки закономерностей формирования нарушенного режима фильтрации при эксплуатации промысловых скважин построены численные модели участков недр и проведена серия экспериментов в рамках возможных схем взаимодействия.

Численное моделирование осуществлено с помощью вычислительного модуля Modflow в программном комплексе GMS. Modflow пользуется мировым признанием в качестве инструмента гидрогеологического моделирования и является основой большинства специальных программных продуктов. В Modflow реализована конечно-разностная аппроксимация уравнения неразрывности фильтрационного потока, на основании которой рассчитываются значения параметров в узловых точках модели.

В результате разработки и тестирования геофильтрационных моделей, а также на основании анализа техногенных воздействий на поле напоров подземных вод, сформулированы выводы о закономерностях формирования нарушенного режима фильтрации и потенциале влияния угольнометанового промысла на подземные воды региона.

5.1. Закономерности воздействия угольнометановых скважин на поле напоров подземных вод

Условия формирования нарушенного режима фильтрации определяются характером динамического воздействия на подземную гидросферу, особенностями геологического строения, фильтрационной неоднородностью, а также естественными условиями питания и разгрузки подземных вод [102].

Элементами технологической схемы угольнометанового промысла, оказывающими прямое воздействие на поле напоров подземных вод, являются добывающие и нагнетательные скважины, которые формируют отрицательные либо положительные аномалии пластового давления. Отрицательные аномалии, или области пониженного давления, приурочены к рабочим интервалам добывающих скважин, которые оборудованы в метаноносных угольных пластах. Положительные же аномалии, т.е. зоны в которых пластовое давление превышает естественное, формируются в поглощающих горизонтах, используемых для обратного закачивания попутных вод.

Условия движения и закономерности распространения подземных вод в районе исследований определяются сочетанием факторов природных условий, которые подробно рассмотрены в главах 2 и 3. Отметим, что разрез угленосной толщи в зоне замедленного водообмена характеризуется резкой фильтрационной неоднородностью, которая нашла отражение при разработке геофильтрационной схемы объекта исследований, изложенной в главе 4.

Гидрогеологические условия добычи метана из угольных пластов в пределах Тутуянской мульды обусловлены её структурными особенностями. В первую очередь, это пологое залегание угольных пластов на большей площади мульды, а также мощная толща высокопроницаемых мезозойских отложений, которые с угловым несогласием залегают на угленосных отложениях палеозоя.

Для выявления закономерностей воздействия угольнометановых скважин на поле напоров подземных вод в гидрогеологических условиях Тутуянской мульды

построены численные модели области фильтрации, на которых выполнена имитация эксплуатационного водоотбора.

5.1.1. Модель формирования водопритока к угольнометановой скважине

Первоочередной проблемой при оценке гидродинамических условий работы угольнометановых скважин является установление формы и мерности фильтрационного потока в зоне влияния скважины. Для определения данных параметров необходимо провести имитацию возмущения, формирующегося при эксплуатации скважины в характерных гидрогеодинамических условиях объекта исследований. На данном этапе целесообразно рассмотреть наиболее простой случай, каковым является эксплуатация одиночной скважины в плано-неограниченном пласте.

В среде программного комплекса GMS построена модель области фильтрации, соответствующая гидрогеодинамическим условиям зоны замедленного водообмена. Параметры фильтрационной неоднородности заданы в соответствии с разработанными схемами гидрогеологических условий Туяской мульды (таблицы 4.4 и 4.6). Условный угольный пласт мощностью 10 м при глубине кровли 550 м, задан с коэффициентом фильтрации (K_f) 0,04 м/сут. Смежная толща угленосных пород мощностью 500 м, задана с закономерной фильтрационной неоднородностью, которая выражена значением коэффициента фильтрации толщи по горизонтали 0,01 м/сут, а по вертикали 0,001 м/сут. Таким образом, коэффициент вертикальной анизотропии угленосной толщи по проницаемости составил 10. Верхний слой модели имитирует толщу юрских отложений, которые перекрывают угленосные отложения пермского возраста. Юрские отложения заданы в модели однородным пластом с K_f 0,1 м/сут.

Периметр сеточной модели задан постоянным значением напора $H(t) = \text{const}$, что соответствует граничным условиям I-го рода. В начальных условиях значение напора принято на 525 м выше кровли условного угольного пласта, начальный градиент потока отсутствует. Нижняя граница сетки модели задана нулевым значением фильтрационного потока $Q = 0$, что соответствует граничному условию II-го рода. Угольнометановая скважина задана в

центральной области угольного пласта путём установления в ячейке сетки значения динамического уровня, соответствующего кровле угольного пласта.

Счёт модели осуществлялся в стационарной постановке, таким образом, упругие свойства пород и флюида не учитывались. Режим эксплуатации угольнометановой скважины на модели имитирован при постоянном понижении уровня, максимально допустимом в реальных условиях. Геометрические характеристики модели определены с таким расчётом, чтобы контуры области фильтрации были отдалены от зоны влияния скважины на расстояние, исключающее их воздействие на форму депрессионной воронки [103].

В результате имитации дренирующего воздействия угольнометановой скважины, получена объёмная модель нарушенного поля напоров подземных вод. Поскольку основной интерес настоящего исследования представляет распространение депрессии в разрезе угленосных пород, то данные моделирования интерпретированы в виде профильной схемы распределения напоров, представленной на рисунке 5.1.

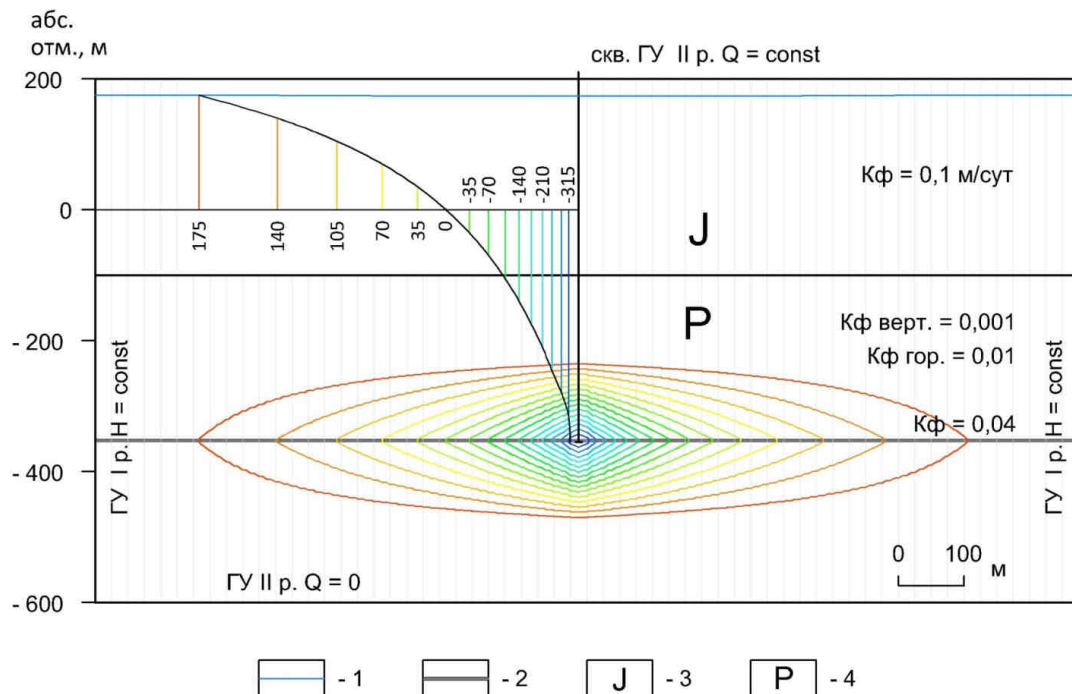


Рисунок 5.1. Профиль модели формирования водопритока к угольнометановой скважине в функции напора. 1 – региональный уровень подземных вод; 2 – дренируемый угольный пласт; 3 – толща отложений юрского возраста; 4 – толща угленосных отложений пермского возраста.

Фильтрационный поток к скважине в изучаемых условиях является радиально-трёхмерным, а его упрощение в ходе схематизации до плоскорадиального привело бы к существенным погрешностям. По этой причине применимость аналитических расчётов для прогнозирования параметров эксплуатации угольнометановых скважин весьма ограничена и основным методом прогнозных оценок остаётся численное моделирование.

Тестовое моделирование наглядно демонстрирует – гидродинамическое воздействие на угольный пласт интенсивно распространяется по площади и затухает в разрезе толщи, что не противоречит характеру фильтрационной неоднородности пород в зоне замедленного водообмена. Возмущение поля напоров подземных вод локализовано в пределах угленосной толщи и затухает на расстоянии порядка 100 метров относительно дренируемого пласта как вниз, так и вверх по разрезу. Следовательно, в условиях резкой фильтрационной неоднородности толщи не следует ожидать распространения депрессии до вышележащих элементов разреза, и учёт юрских отложений при моделировании угольнометановых скважин необязателен.

Из результатов модельного эксперимента следует, что, невзирая на отсутствие в строении Тутуянской мульды водоупорных отложений, подземные воды зоны замедленного водообмена по условиям движения неправомерно считать безнапорными. Здесь ритмичное переслаивание пластов со значительным разбросом проницаемости формирует субнапорные условия движения подземных вод. Данная особенность способствует изоляции вышележащих коллекторов подземных вод от гидродинамических возмущений в угленосной толще.

5.1.2. Взаимодействие скважин с гидродинамическими границами

Модель водоотбора в неограниченном пласте отражает влияние закономерной составляющей фильтрационной неоднородности разреза угленосных пород на формирование нарушенного режима фильтрации, однако, в рамках данной работы представляет интерес также характер взаимодействия угольнометановых скважин с гидродинамическими границами. Для оценки влияния характерных граничных условий на форму депрессии, выполнена серия

модельных экспериментов с имитацией взаимодействия поля напоров с соседней скважиной, проницаемой и слабопроницаемой зонами тектонических нарушений. Результаты моделирования отражены на рисунках 5.3-5.5, где развитие депрессии интерпретировано как в плане, так и в разрезе. Для сравнения представлена также модель влияния УМ скважины в неограниченном пласте (рис. 5.2).

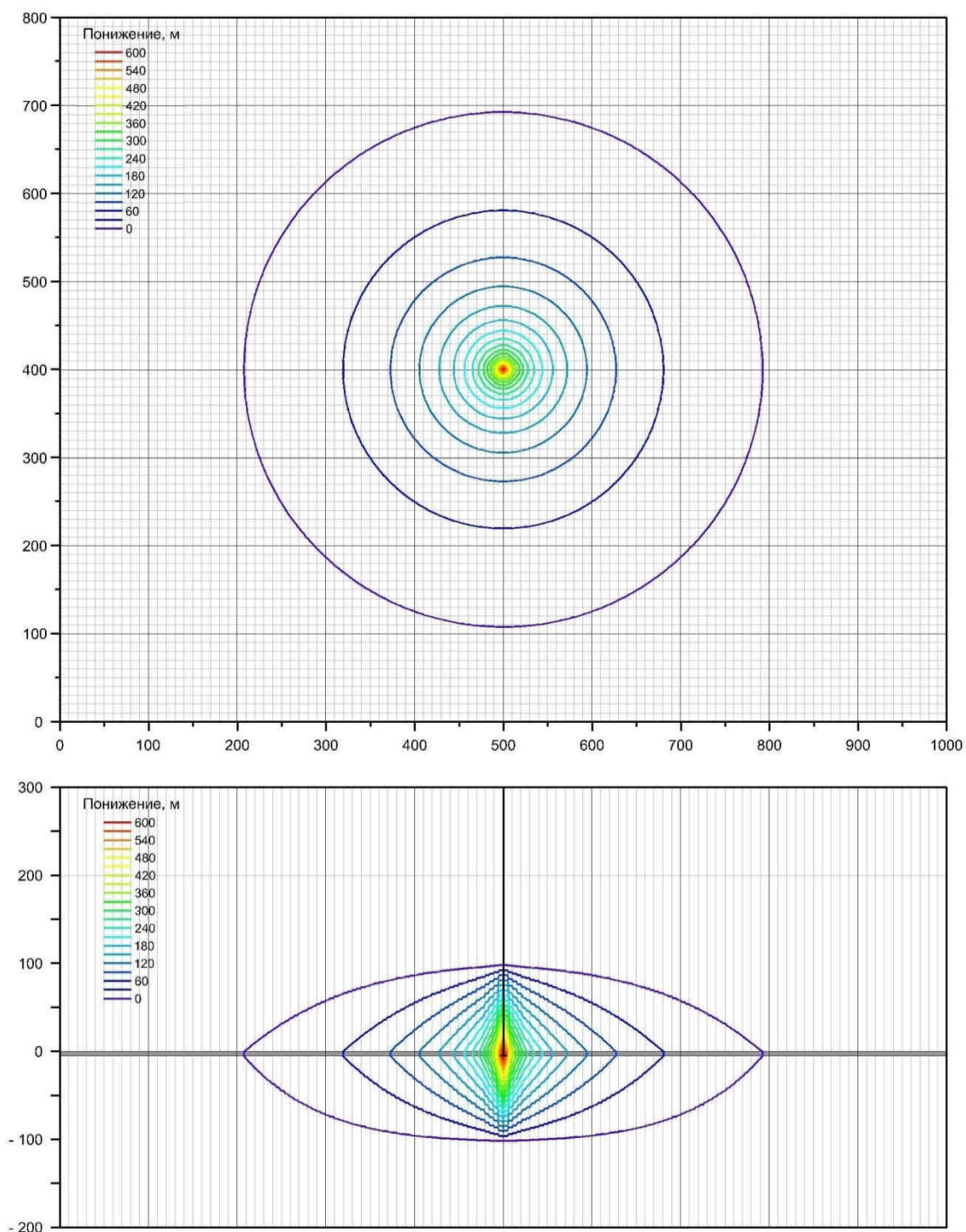


Рисунок 5.2. Прогноз формирования депрессии при эксплуатации одиночной угольнометановой скважины в неограниченном пласте.

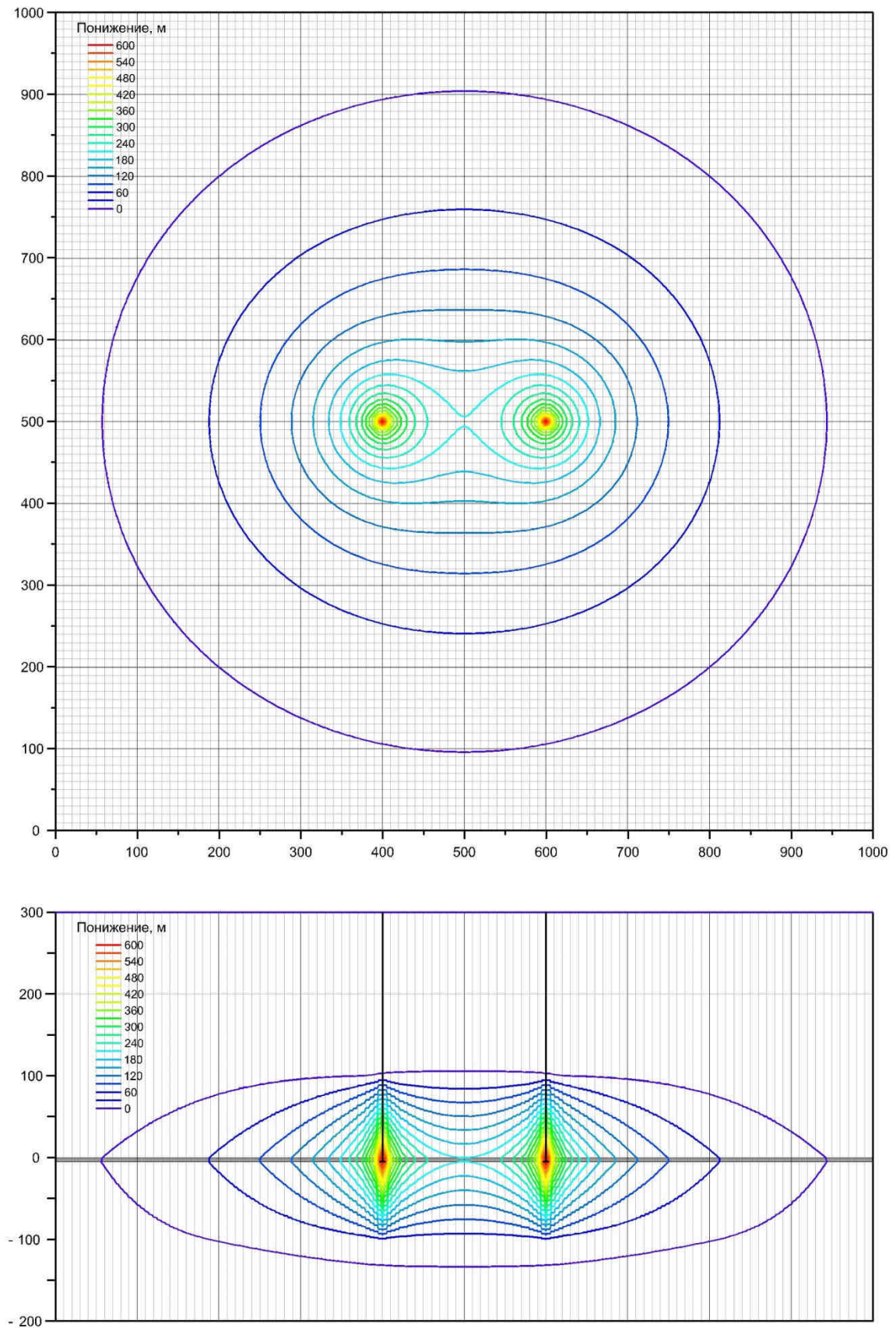


Рисунок 5.3. Прогноз взаимодействия угольнометановых скважин.

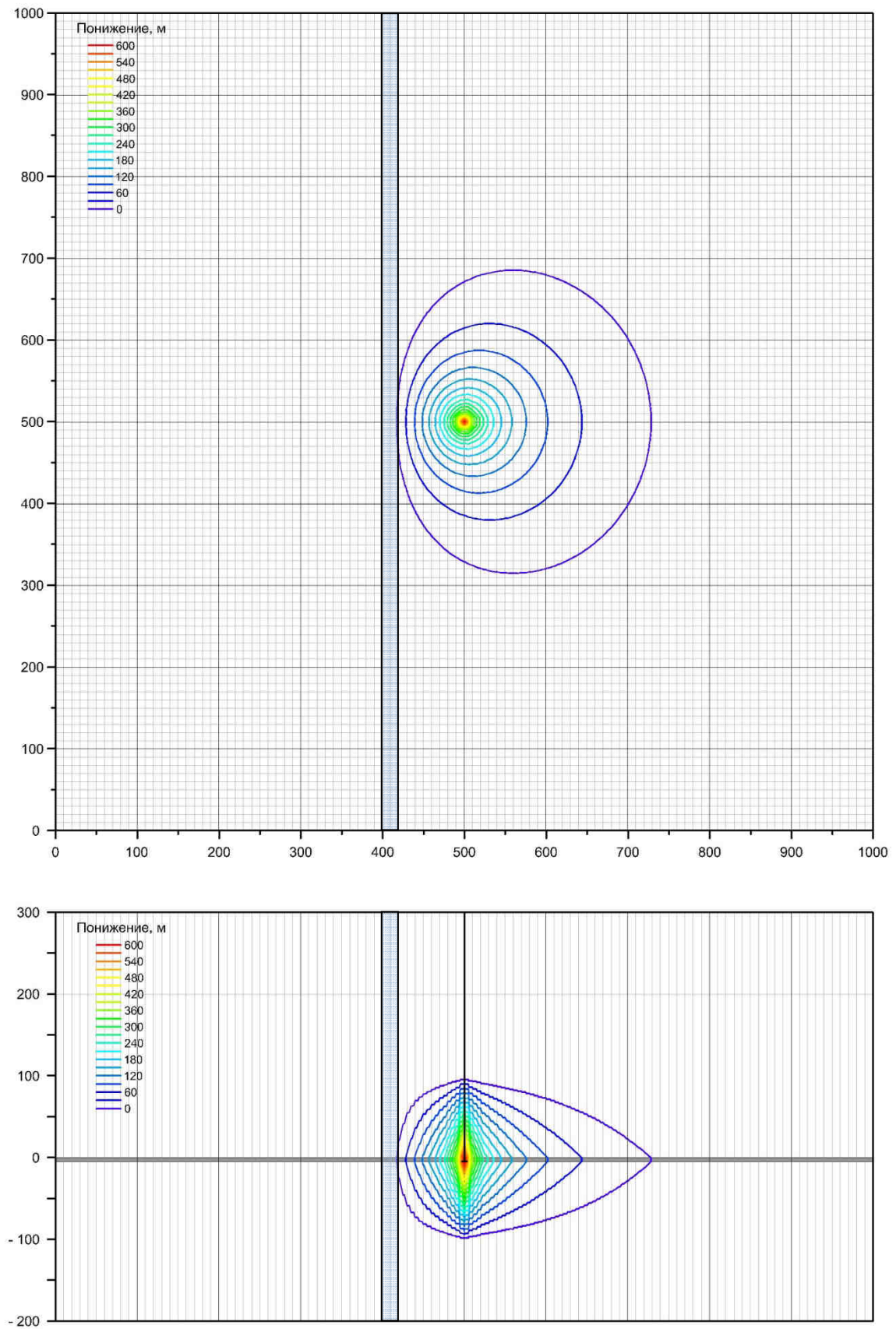


Рисунок 5.4. Прогноз взаимодействия угольнометановой скважины с высокопроницаемой зоной тектонических нарушений.

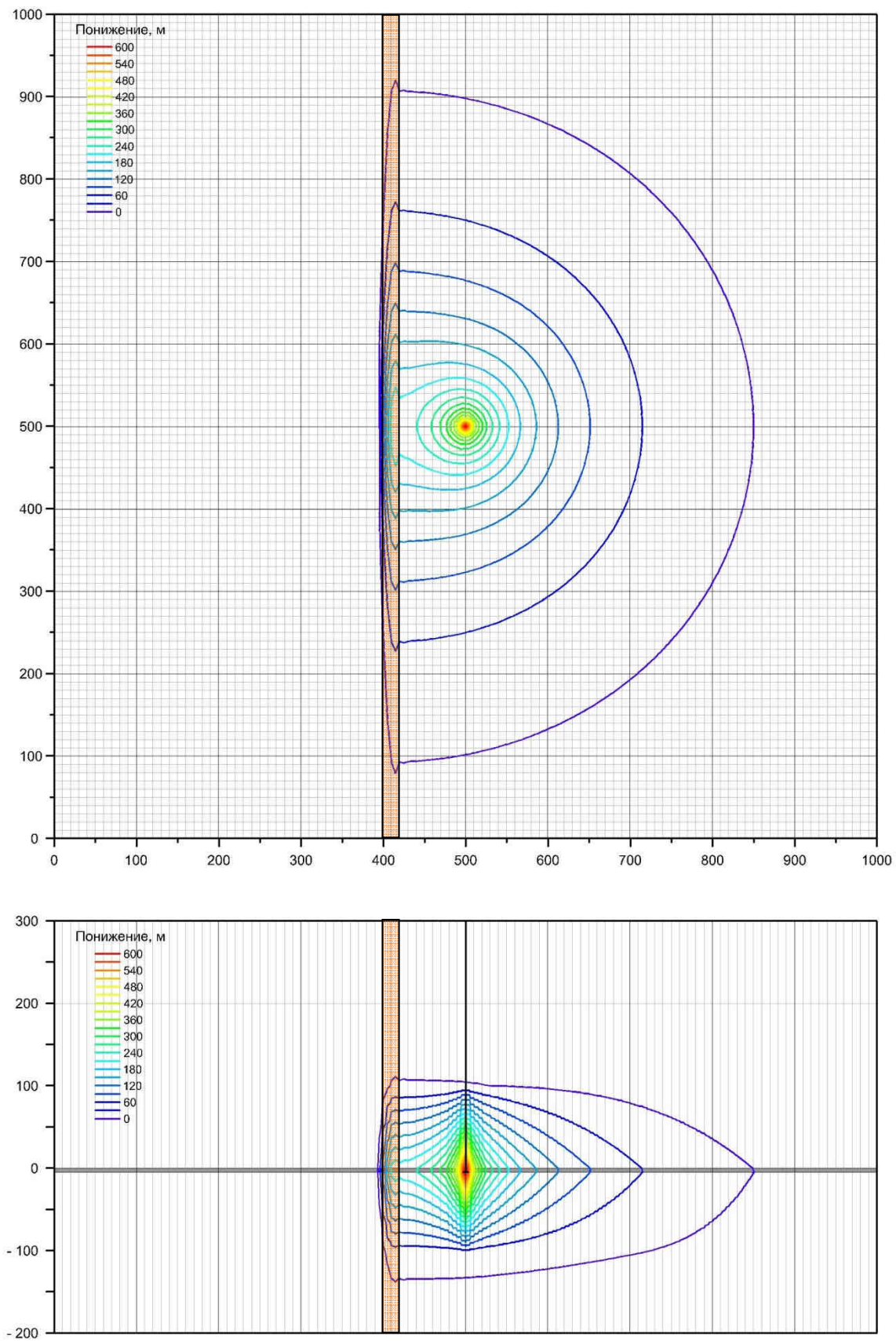


Рисунок 5.5. Прогноз взаимодействия угольнометановой скважины со слабопроницаемой зоной тектонических нарушений.

Исследование нарушенного режима фильтрации при различных граничных условиях показывает, что форма области пониженного давления существенно зависит от удалённости скважины относительно границ и их гидродинамической функции. На моделях воспроизведены частные случаи взаимодействия скважины с типовыми граничными условиями, при этом следует отметить, что в действительности, при эксплуатации угольнометановой скважины, в той или иной степени могут проявиться все формы взаимодействия. Более того, в реальных условиях, когда помимо закономерной действует тектонически обусловленная и случайная компоненты фильтрационной неоднородности, область депрессии будет формироваться с весьма сложной формой. Однако в рамках исследования характера влияния угольнометановых скважин в гидрогеологических условиях Тутуянской мульды нет необходимости в построении детальных моделей, более того, на данном этапе отсутствует достаточно точная геологическая модель рассматриваемой структуры.

Радиус влияния скважины составил 300 м (рисунок 5.2) в условиях неограниченного пласта, тогда как депрессия на пласт достигает максимальной площади при взаимодействии со слабопроницаемой границей (рисунок 5.5). Наименее эффективной оказалась модель эксплуатации скважины в условиях влияния высокопроницаемой границы: при такой постановке взаимодействия площадь депрессии получается минимальной, а величина водопритока к скважине существенно возрастает (рисунок 5.4).

В результате модельных экспериментов получена наглядная картина гидродинамического влияния угольнометановых скважин в характерных для района Тутуянской мульды условиях. Закономерности развития нарушенного режима фильтрации позволяют судить о локализации влияния водоотбора в разрезе угленосной толщи, в пределах зоны замедленного водообмена. С одной стороны, это позволяет прогнозировать невысокие дебиты воды из промысловых скважин, поскольку на моделях не проявляется гидравлическая связь с высокопроницаемыми вышележащими отложениями. С другой стороны, выявленные закономерности не способствуют вовлечению в зону влияния

скважины пресные подземные и поверхностные вод, что могло бы привести к снижению их запасов в регионе.

5.2. Влияние угольнометанового промысла на ресурсы пресных подземных вод

При разработке технологической схемы угольнометанового промысла должны быть определены участки расположения и конструкция добывающих скважин, а также метод утилизации дренажных вод, попутно извлекаемых в процессе добычи угольного метана. Выбор метода утилизации попутных вод будет осуществляться исходя из экономической целесообразности при условии минимизации экологических последствий.

В контексте рассмотрения гидрогеологических условий добычи угольного метана, объектом воздействия со стороны промысла являются подземные воды, причём высокоминерализованные растворы из зоны замедленного водообмена при извлечении их на поверхность являются потенциальным источником загрязнения пресных подземных вод. Соответственно, основной задачей при утилизации попутных вод из угольнометановых скважин на площади Тутуянской мульды является сохранение качества пресных природных вод данного региона.

Крупнейшим объектом эксплуатации подземных вод в районе исследований является Тутуяское месторождение, разведанное в нижнем течении реки Тутуяс. Для определения потенциала взаимодействия угольнометанового промысла и месторождения подземных вод необходимо детально рассмотреть условия формирования ресурсов пресных подземных вод в районе исследований.

5.2.1. Условия формирования подземных вод Тутуяского месторождения

Тутуяское месторождение подземных вод расположено в центральной части Подобасско-Тутуянской депрессии и приурочено к долине реки Тутуяс [83]. Месторождение локализовано в результате изысканий источников водоснабжения для города Новокузнецка в 50-60 г.г. XX века. В ходе этих работ выявлена высокая перспективность нижнетутуянской площади для добычи подземных вод, проведена разведка Тутуяского месторождения и произведён подсчёт его

запасов. Суммарные запасы Тутуяского месторождения подземных вод, подсчитанные по категориям А, В, С1 и С2, составляют 101 000 м³/сут [31]. Поскольку изыскание дополнительных источников водоснабжения велось на перспективу развития региона, месторождение так и не было введено в эксплуатацию, а является в настоящее время резервным. Природные условия нижнетутуяской площади уникальны: распространённым здесь мезозойским отложениям присуща высокая проницаемость, при этом открытый характер их залегания обеспечивает благоприятные условия восполнения запасов подземных вод. Вкупе с низкой антропогенной нагрузкой на площади водосбора, это обеспечивает высокую значимость месторождения подземных вод на данной территории.



Рисунок 5.6. Схема расположения Тутуяского месторождения подземных вод.

Красный контур – бассейн водосбора реки Тутуяс, зелёный контур –
нижнетутуяская площадь.

Оценка условий формирования ресурсов подземных вод Тутуяского месторождения проводится на основе обобщения доступной информации о природных условиях региона и анализа гидрогеологической модели, разработанной для данной природно-технической системы.

Границы водосборного бассейна реки Тутуяс определены путём районирования цифровой модели рельефа с помощью инструментов

гидрологического анализа из модуля Spatial Analyst в программном комплексе ArcGIS. Там же выполнено моделирование сети водотоков. Площадь бассейна составляет 884,2 км². Границы водосборного бассейна соответствуют пространственному положению поверхностных водоразделов, поскольку район расположен в зоне расчленённого низкогорного рельефа и предпосылки для иного положения водоразделов подземного стока не выявлены.

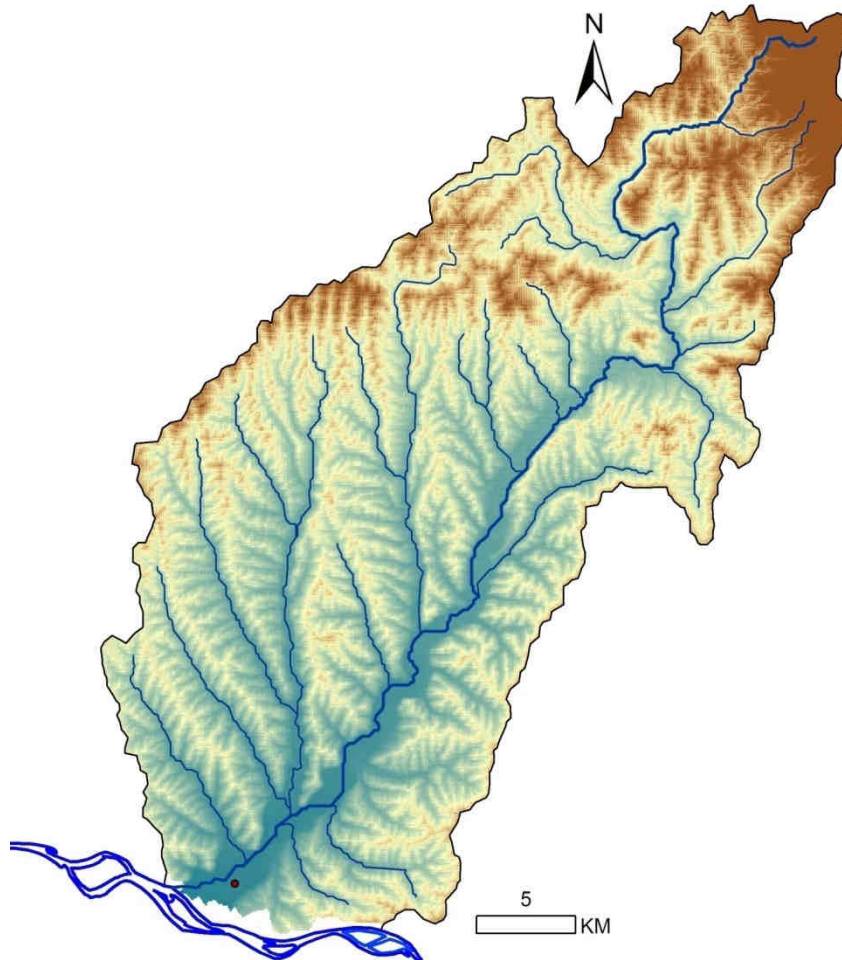


Рисунок 5.7. Модель рельефа и гидрографической сети бассейна реки Тутуяс.

Для определения условий движения подземных вод в бассейне реки Тутуяс, построена региональная гидрогеологическая модель зоны активного водообмена. Моделирование выполнено с помощью модуля MODFLOW в программном комплексе GMS [104]. Площадь бассейна представлена равномерной конечно-разностной сеткой 250×250 м, в ячейках которой заданы значения абсолютной высоты рельефа, коэффициента фильтрации и интенсивности инфильтрационного питания. В ячейках, соответствующих положению поверхностных водотоков,

заданы параметры русла: абсолютные высоты уровня воды и дна. Значение коэффициента фильтрации варьируется от 0,01 м/сут для водораздельных площадей до 70 м/сут для нижнетутуянской площади. Интенсивность инфильтрационного питания соответствует средней величине для района исследований и задана во всех ячейках одинаковой: 0,0002 м/сут, исключая долины рек. На основании схематизации гидрогеологических условий, представленной в четвёртой главе, разрез представлен в виде однослойной модели. Нижняя граница, соответствующая подошве зоны активного водообмена, задана граничным условием с нулевым расходом, поскольку влияние нижележащих слабопроницаемых коллекторов на фильтрационный поток не существенно. Южная граница области фильтрации, проходящая по реке Томь, задана граничными условиями I-го рода с постоянным значением напора. Остальной периметр модели, определяемый положением водоразделов речных бассейнов, задан границами II-го рода с нулевым расходом. Русло реки Тутуяс и его притоки определяют положение внутренних границ с условиями III-го рода.

При первой итерации моделирования получено распределение уровней подземных вод в естественных условиях, что определило начальные условия для последующих численных экспериментов. Уровенная поверхность в общих чертах совпала с базисной поверхностью водотоков второго порядка, что подтверждает применимость морфоструктурно-гидрогеологического анализа для построения карты гидроизогипс в условиях недостаточной гидрогеологической изученности.

На следующем этапе выполнена имитация эксплуатации месторождения подземных вод на нижнетутуянской площади. В ячейке модели, имитирующей водозаборную скважину, задано значение дебита водоотбора, соответствующее величине запасов Тутуянского месторождения. Водоприёмная часть задана в интервале глубин 100-120 м, что соответствует нижнему интервалу зоны активного водообмена. Поскольку интерес исследования представляет формирование ресурсов подземных вод в условиях продолжительной эксплуатации месторождения, имитация водоотбора выполнена без учёта фактора времени и процесс достижения стационарного режима фильтрации не изучался.

Результат моделирования водоотбора на нижнетутуясской площади представлен в виде карты гидроизогипс (рис. 5.8), что позволяет оценить распространение нарушенного режима фильтрации в плане и определить площадь зоны депрессии. Контур области влияния точечного водоотбора на нижнетутуясской площади получен путём вычитания уровенных поверхностей подземных вод при естественном и нарушенном режимах. Граница проведена по изолинии понижения уровня подземных вод на 1 м за период 10 000 сут.

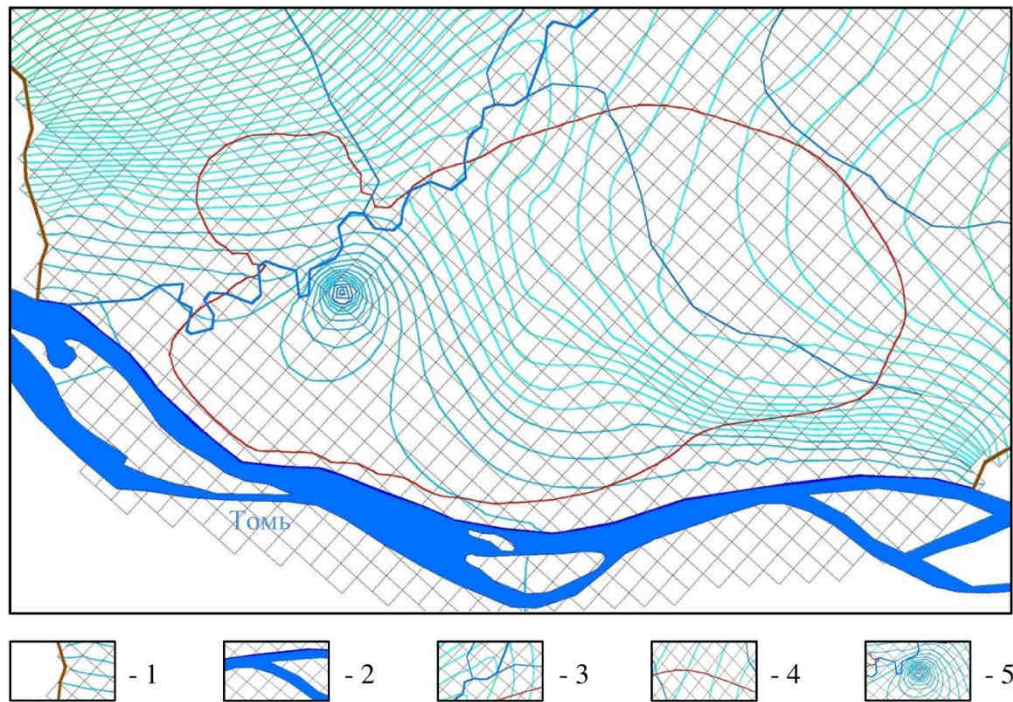


Рисунок 5.8. Прогноз влияния водоотбора на нижнетутуясской площади.

1 – Граница водосборного бассейна (II род, $Q=0$); 2 – река Томь (I род, $H=\text{const}$); 3 – река Тутуяс и притоки (III род, $H=\text{const}$); 4 – контур влияния водоотбора; 5 – точка воздействия на поле напоров подземных вод (II род, $Q=\text{const}$).

Форма депрессионной поверхности отражает тесную гидравлическую связь водозабора с рекой Тутуяс, при этом прослеживается взаимодействие и с рекой Томь, хотя она находится на значительном расстоянии. Область влияния водозабора вытянута в восточном направлении, поскольку в этой части отсутствуют крупные водотоки. Характер влияния свидетельствует о тесной связи подземных вод с поверхностными водотоками, вследствие чего значительная доля запасов Тутуяского месторождения обеспечивается привлекаемыми ресурсами.

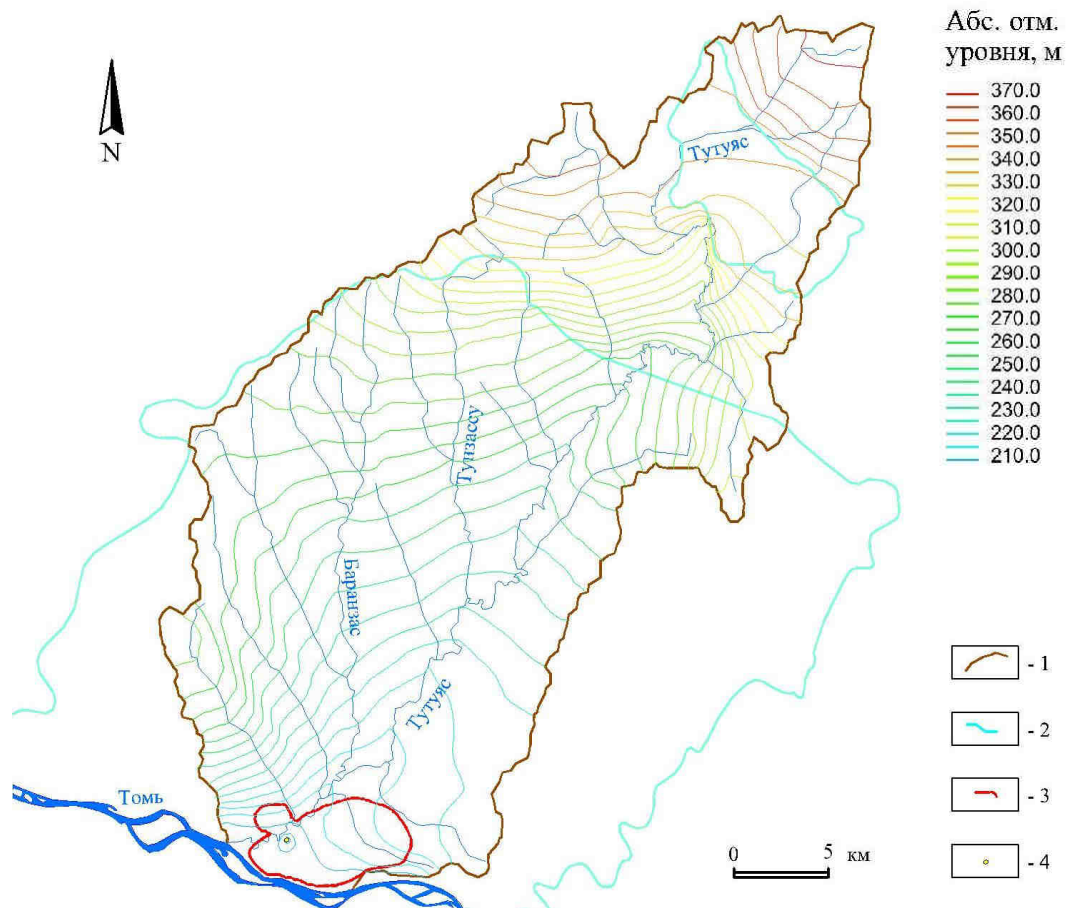


Рисунок 5.9. Гидродинамическая модель бассейна реки Тутуяс.

1 – граница водосборного бассейна; 2 – контур распространения юрских отложений; 3 – граница влияния водоотбора по данным численного моделирования; 4 – точка имитации водоотбора.

Анализ баланса модели показал, что только 10% водопритока формируется за счёт инфильтрации на площади влияния месторождения, а 90% обеспечивается привлечением речных вод. Перемещение точки имитации водоотбора в пределах нижнетутуянской площади не повлияло на это соотношение. Баланс запасов Тутуянского месторождения подземных вод свидетельствует о том, что его ресурсы формируются на всей площади водосборного бассейна реки Тутуяс.

Величина инфильтрационного питания подземных вод на площади бассейна составляет около $180\,000\text{ м}^3/\text{сут}$, что превышает ранее подсчитанные суммарные запасы Тутуянского месторождения практически в два раза. В сочетании с высокой проницаемостью водовмещающих пород это создаёт благоприятные условия для восполнения запасов подземных вод, но обуславливает их уязвимость к источникам загрязнения на значительной площади.

Результаты моделирования отбора подземных вод из зоны активного водообмена на нижнетутуясской площади подтверждают обеспеченность ранее подсчитанных запасов подземных вод Тутуясского месторождения и позволяют судить об исключительной роли поверхностных водотоков в восполнении этих запасов. Что в свою очередь определяет площадь водосборного бассейна реки Тутуяс как область формирования ресурсов рассматриваемого месторождения.

5.2.2. Оценка потенциала влияния

Результаты гидрогеодинамического моделирования угольнометановых скважин и водозабора подземных вод в природных условиях Тутуясской мульды позволяет осуществить предварительную оценку потенциала взаимного влияния рассматриваемых источников возмущения напоров подземных вод. На рисунке 5.10 изображено взаимное расположение проектируемых угольнометановых и водозаборных скважин, а также зон их влияния.

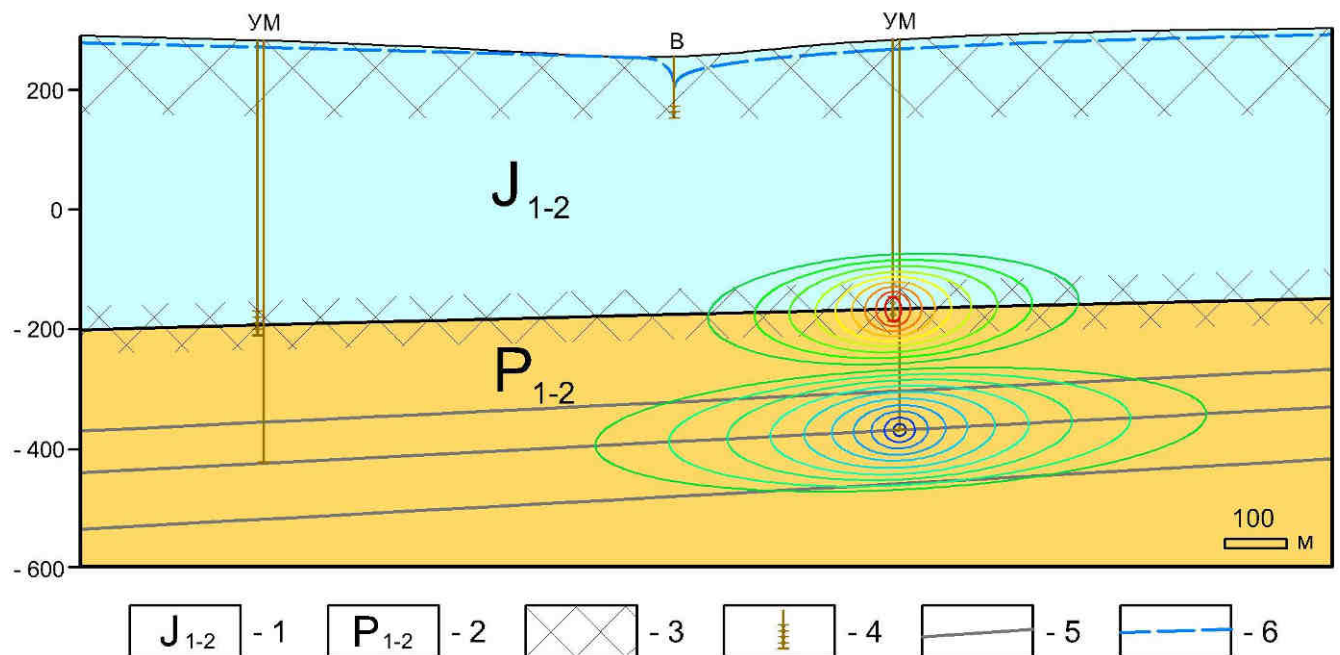


Рисунок 5.10. Схема взаимного положения проектируемых угольнометановых и водозаборных скважин в разрезе Тутуясской мульды.

1 – водоносный комплекс юрских отложений; 2 – водоносный комплекс пермских отложений; 3 – региональные зоны развития трещиноватости; 4 – скважины: В – водозаборные, УМ – угольнометановые (дренирующие и нагнетательные); 5 – угольные пласты; 6 – уровень подземных вод.

В процессе освоения ресурсов метана из угольных пластов и подземных вод в районе Тутуянской мульды, скважины на пресные воды и угольный метан будут разнесены как по площади, так и в разрезе. Проходка угольнометановых скважин в зоне санитарной охраны месторождения подземных вод исключена, что ограничивает возможность их сближения дистанцией, как минимум, 3 км. Водоприёмные части скважин будут разделены осадочной толщей мощностью порядка 500м, которая в зоне замедленного водообмена обладает значительным фильтрационным сопротивлением. Помимо этого, фильтрационная неоднородность пород в зоне замедленного водообмена способствует затуханию гидродинамических возмущений в разрезе, что наглядно продемонстрировали гидрогеодинамические модели, описанные в разделе 5.1. Соответственно, на основании анализа актуальных сведений о гидрогеодинамических условиях Тутуянской мульды, потенциал прямого гидродинамического взаимодействия угольнометановых и водозаборных скважин на данной площади не выявлен.

Технология скважинной добычи метана из угольных пластов основана на эксплуатационном снижении давления подземных вод, что подразумевает постоянное извлечение на поверхность высокоминерализованных вод из угленосной толщи. Несмотря на то, что дебиты воды при эксплуатации угольнометановых скважин в Кузбассе составляют единицы кубометров в сутки, в результате многолетней эксплуатации большого числа скважин будет получен значительный объём высокоминерализованных и технологически загрязнённых растворов. Таким образом, угольнометановый промысел является потенциальным источником загрязнения пресных поверхностных и подземных вод, а степень его негативного влияния зависит от технологической схемы утилизации некондиционных попутных вод.

Как показал анализ гидрогеодинамических условий Тутуянской мульды, подземные воды данной структуры характеризуются высокой чувствительностью к источникам загрязнения на поверхности. Особенно уязвимой к загрязнению является зона активного водообмена. Это обусловлено высокой проницаемостью водоносного комплекса юрских отложений и открытым характером его залегания.

В этой связи, оптимальным способом утилизации попутных вод из угольнометановых скважин будет их закачивание в приёмистые коллекторы зоны замедленного водообмена. Схема утилизации будет наиболее рациональной при соответствии гидрогеохимических обстановок принимающего коллектора и дренируемой угленосной толщи. Согласно данным гидрогеодинамического строения Тутуяской мульды, наиболее перспективным коллектором для захоронения попутных вод является зона дробления пород на контакте палеозойских и мезозойских отложений, которая располагается преимущественно в зоне замедленного водообмена (элемент 4 на рисунке 5.11).

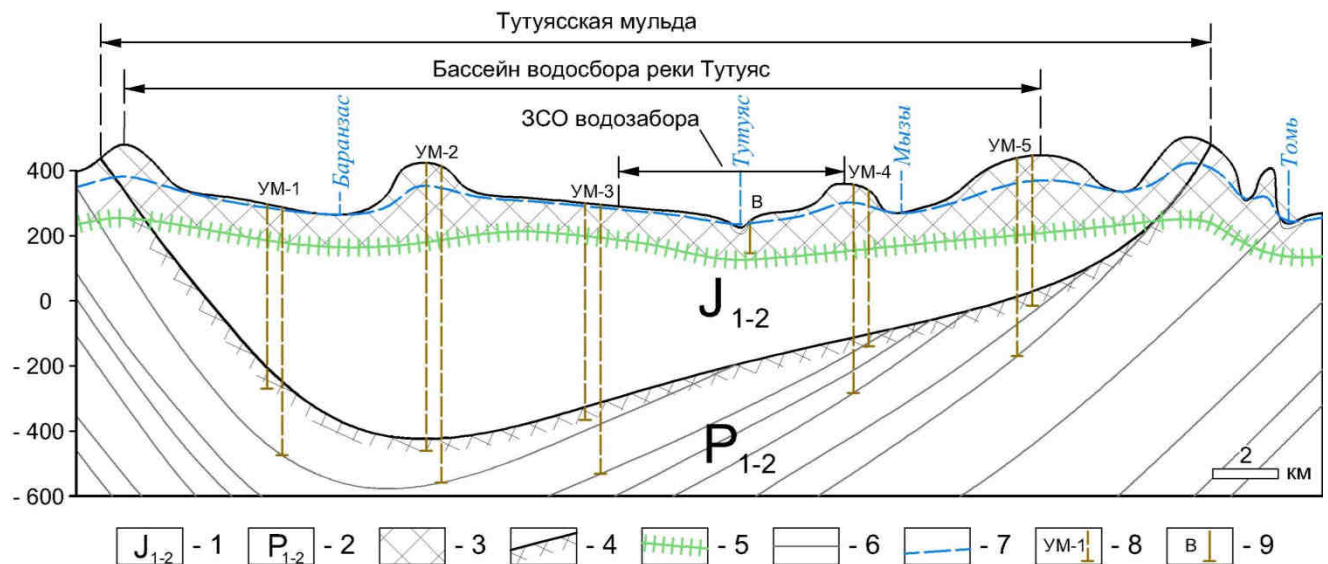


Рисунок 5.11. Гидрогеологический разрез Тутуяской мульды.

1 – водоносный комплекс юрских отложений; 2 – водоносный комплекс пермских отложений; 3 – зона активного водообмена; 4 – зона дробления пород на стратиграфическом контакте; 5 – зона вторичного минералообразования; 6 – угольные пласты; 7 – уровень подземных вод; 8 – проектируемые угольнометановые скважины; 9 – скважина водозабора подземных вод.

В случае установления гидродинамического взаимодействия дренирующих и нагнетательных скважин, подземные воды зоны замедленного водообмена будут циркулировать в замкнутом цикле, что позволит минимизировать потенциал негативного влияния угольнометанового промысла на подземные воды в регионе газодобычи.

Заключение

Гидрогеодинамические условия Тутуянской мульды определяются геолого-гидрогеологическими особенностями юго-восточной провинции Кузнецкого угольного бассейна, которые в свою очередь сформировались в результате длительного накопления и преобразования осадочной толщи угленосных отложений в ходе геологической истории Алтае-Саянской складчатой области.

Несмотря на слоистое строение, характерное для артезианских структур, проницаемость разреза коренных отложений района обусловлена степенью трещиноватости пород и раскрытием трещин. По характеру движения подземные воды коренных отложений являются трещинными и трещинно-пластовыми, в зонах тектонических нарушений – трещинно-жильными. Основным элементом гидрогеологической стратификации являются водоносные комплексы, которые, тем не менее, гидравлически не разобщены, что существенно затрудняет геофильтрационную схематизацию для целей гидрогеодинамического моделирования.

В результате численных экспериментов по имитации воздействий угольнометановых скважин на поле напоров подземных вод в условиях Тутуянской мульды, выявлен радиально-трёхмерный характер фильтрационного потока к скважинам. Данный характер фильтрации исключает возможность вычислительной схематизации по структуре потока, что ограничивает применимость аналитических расчётов при оценке гидрогеодинамических параметров эксплуатации угольнометановых скважин.

Форма нарушенного режима фильтрации на моделях свидетельствует о низкой вероятности гидродинамического взаимодействия угольнометановых и водозаборных скважин ввиду характерной фильтрационной неоднородности угленосной толщи.

На основании результатов проведённого исследования сформулированы следующие выводы о форме и масштабах влияния планируемой добычи метана из угольных пластов на подземные воды Тутуянской мульды:

1. В процессе эксплуатационного водоотбора сформируются концентрические зоны пониженного давления в радиусе до 500 м вокруг угольнометановых скважин. Возмущение будет распространяться по площади угольных пластов и интенсивно затухать в разрезе смежных пород. Идентичный характер развития репрессии правомерно ожидать при обратном закачивании попутных вод.

2. Нарушенный режим фильтрации при эксплуатации угольнометановых скважин будет развиваться в пределах толщи угленосных пород. Закачивание попутных вод в смежные коллекторы будет способствовать локализации возмущения в зоне замедленного водообмена.

3. Условия формирования подземных вод Тутуяского месторождения требуют соблюдения природоохранных мер на всей площади бассейна реки Тутуяс, следовательно, захоронение минерализованных попутных вод в зоне замедленного водообмена будет оптимальным способом их утилизации.

В результате проделанной работы определён вероятный характер влияния углеметанового промысла на подземные воды Тутуяского района. Подтверждение либо опровержение полученного прогноза является одной из задач изысканий для обоснования технологической схемы добычи угольного метана. При этом необходимо проведение дополнительных геофильтрационных работ для уточнения вертикальной составляющей водообмена в толще угленосных пород.

В целом, гидрогеодинамические условия добычи метана из угольных пластов на площади Тутуяской мульды Кузбасса оцениваются как очень сложные, что обусловлено природными особенностями объекта и размещением инфраструктуры промысла на площади формирования ресурсов подземных вод существующих месторождений. Минимизация нежелательного влияния добычи метана на Тутуяское месторождение подземных вод возможна в результате разработки рациональной схемы дренирования угленосной толщи и утилизации попутных вод, при оптимизации режима эксплуатации на основе численного гидродинамического моделирования.

Список литературных источников

1. Звягин, С.П. История Кузбасса / С.П. Звягин, В.М. Зинякова, О.С. Красильникова, В.П. Литовченко, В.А. Мирошник, А.В. Палин, Т.А. Реховская, А.Н. Устьянцев. Кемерово: КТИПП, 2014. 368 с.
2. Бутов, П.И. Материалы для геологии Кузнецкого каменноугольного бассейна. Юго-Западная окраина бассейна / П.И. Бутов, В.И. Яворский // Материалы по общей и прикладной геологии. Геологический комитет, 1922. №48. 58 с.
3. Яворский, В.И. Кузнецкий каменноугольный бассейн / В.И. Яворский, П.И. Бутов. Л.: Геол. ком., 1927. 244 с.
4. Обручев, В.А. История геологического исследования Сибири // Л. Изд-во АН СССР, 1933. 230 с.
5. Яворский, В.И. Геология СССР. Кузнецкий бассейн. Л.: Госгеолиздат, 1940. Т.16. 783 с.
6. Белякова, Е.Е. Материалы по гидрогеологии и газоносности северо-восточной части Кузбасса // Материалы по геологии, гидрогеологии и нефтегазоносности Западной Сибири. 1954. Т.1. С. 184-226.
7. Плевако, Г.А. Гидрогеология Осинковского района Кузбасса и условия отработки углей под обводненными юрскими отложениями: дис. канд. геол.- мин. наук. Томск: ТПИ, 1965. 386 с.
8. Рогов, Г.М. Гидрогеологические условия разработки Осинковского месторождения Кузбасса / Г.М. Рогов, Г.А. Плевако, Д.С. Покровский // Инжиниринг георесурсов. Известия ТПИ, 1970. Т.218. С. 66-70.
9. Плевако, Г.А. Гидрогеологические условия Осинниковского каменноугольного месторождения Кузбасса // Инжиниринг георесурсов. Известия ТПИ, 1976. Т.236. С. 113–118.
10. Акуленко, Ю.Н. Подземные воды аллювиальных отложений долины р. Томи в Кузбассе и перспективы их использования для водоснабжения: дис. канд. геол.- мин. наук. НПИ им. Серго Орджоникидзе, 1969. 277 с.

11. Покровский, Д.С. Гидрогеология Ерунаковского района Кузбасса: дис. канд. геол.- мин. наук. Томск: ТПИ, 1967. 346 с.
12. Рогов, Г.М. О причинах повышенной водообильности пород в депрессиях рельефа в Кузбассе / Л.А. Соломко, Г.М. Рогов // Инжиниринг георесурсов. Известия ТПУ. Изд-во ТПИ, 1965. Т.127, №2. С. 142–145.
13. Рогов, Г.М. К вопросу гидрогеологии Кузнецкого бассейна / Г.М. Рогов, Г.А. Плевако, Л.А. Соломко // Инжиниринг георесурсов. Известия ТПИ, 1964. Т.127, №2. С. 120-123.
14. Рогов, Г.М. Гидрогеология и катагенез пород Кузбасса / Г.М. Рогов, В.К. Попов. Томск: Изд-во ТГУ, 1985. 192 с.
15. Рогов, Г.М. Гидрогеология и геоэкология Кузнецкого угольного бассейна. Томск: Изд-во ТГАСУ, 2000. 167 с.
16. Кузнецова, М.А. Гидрогеология СССР. Том XVII. Кемеровская область и Алтайский край / М.А. Кузнецова, О.В. Постникова. Москва: Изд-во Недра, 1972. 399 с.
17. Попов, В.К. Особенности формирования и использование подземных вод угленосных образований Кузбасса (на примере центральных и южных районов): дис. канд. геол.- мин. наук. Томск: ТИСИ, 1975. 234 с.
18. Макушин, Ю.В. Исследование закономерностей формирования структуры фильтрационных потоков для целей схематизации гидрогеологических условий угольных месторождений (на примере Центрального Кузбасса): автореф. дис. канд. геол.-минералог. наук. Томск: ТПУ, 1983. 20 с.
19. Дегтярев, В.П. Экологические проблемы геологической среды Кузбасса и развитие опасных техногенных процессов / диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. дис. канд. геол.- мин. наук. Томск: ТПУ, 2004. 167 с.
20. Домрочева, Е.В. Гидрогеохимические особенности угольных районов юга Кузбасса: автореф. дис. канд. геол.-минералог. наук. Томск: ТПУ, 2005. 21 с.

21. Андреева, М.П. Эколого-геохимическое состояние подземных вод зоны активного водообмена юга Кузбасса: автореф. дис. канд. геол.-минералог. наук. Томск: ТПУ, 2007. 20 с.

22. Шварцев, С.Л. Аномальный состав изотопов углерода в подземных щелочных водах Кузбасса / С.Л. Шварцев, О.Е.Лепокурова, В.А. Пономарчук, Е.В. Домрочева, Д.А. Сизиков. // Доклады РАН, 2016. – Т.469. №6. С. 724-728

23. Шварцев, С.Л. Геохимия и формирование содовых вод Кузбасса / С.Л. Шварцев, Е.В. Домрочева, Н.М. Рассказов // Инжиниринг георесурсов. Известия ТПУ. 2011. Т.318, №1. С. 128-134.

24. Домрочева, Е.В. Геохимическая зональность подземных вод Кузбасса // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVI Международного научного симпозиума им. акад. М. А. Усова, 2012. Т.1. С.444-446

25. Домрочева, Е.В. Характеристика гидрогеологических условий Талдинской площади Ерунаковского района Кузбасса / Е.В. Домрочева, Д.А. Сизиков // Малышевские чтения: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. Т.2. Старый Оскол, 2013. С. 128–136.

26. Домрочева, Е.В. Геохимическая характеристика подземных вод Нарыкско-Осташкинской площади (Кузбасс) / Е.В. Домрочева, О.Е. Лепокурова, Д.А. Сизиков // Инжиниринг георесурсов. Изв. ТПУ, 2014. Т.325, № 1. С. 94–101.

27. Домрочева, Е.В. Равновесия подземных вод Нарыкско-Осташкинской площади (Кузбасс) с минералами вмещающих пород / Е.В. Домрочева, О.Е.Лепокурова // Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии: материалы Всероссийской конференции с международным участием. Томск, 2015. С. 405–409.

28. Домрочева, Е.В. Гидрогеология юга Кузбасса / Е.В. Домрочева, О.Е. Лепокурова, С.Л. Шварцев, Д.А. Сизиков, К.И. Кузеванов, А.Г. Гридасов // Роговские чтения: проблемы инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии урбанизированных территорий. Томск: ТГАСУ, 2015. С. 32–36.

29. Золотых С.С. От проекта «Метан Кузбасса» – к кузбасскому метану // Вестник КузГТУ. 2010. Т.6. С. 37–39.

30. Юзвицкий, А.З., Угольная база России / Т. 2: Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири / А.З. Юзвицкий, В.Ф. Череповский. М.: Геоинформцентр, 2003. 602 с.
31. Сухопольский, О.В. Сводный отчёт о гидрогеологических исследованиях для обоснования проектов хозяйственно-питьевого водоснабжения Новокузнецкого промрайона. Новокузнецк: ЗСГУ, 1964. 134 с.
32. Савина, Ж.Н. Гидрогеологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Лист N-45-XXII. Объяснительная записка. Новокузнецк: ЗСГУ, 1965. 103 с.
33. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Выпуск 20. Ч. VI, - СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 717 с.
34. Jarvis, A. Hole-filled SRTM for the globe Version 4 / A. Jarvis, H. Reuter, A. Nelson, E. Guevara // CGIAR-CSI SRTM 90m Database. USGS, 2008.
35. Вершинина, И.П. Характеристика годового стока рек Кузбасса // Вестник ТГУ. Томск: Изд-во ТГУ, 2008. № 316. С. 201-205.
36. Рудомётов, С.И. Река Тутуяс [Электронный ресурс] URL: http://egiki.ru/wiki/index.php/P._Тутуяс (дата обращения: 20.04.2018).
37. Спутниковый снимок района исследований [Электронный ресурс] URL: <https://www.google.ru/maps/@53.9148928,87.8962044,41704m/data=!3m1!1e3> (дата обращения: 20.04.2018).
38. Решения Всесоюзного совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем докембрия, палеозоя и четвертичной системы Средней Сибири. Т. II (средний и верхний палеозой). Новосибирск: СНИИГГИМС, 1982.
39. Беляев, С.Ю. Геологическое строение Кузбасского угольного бассейна и проблема выбора объектов для поисково-геолого-разведочных работ на метан угольных пластов / С.Ю. Беляев, Н.В. Сенников, Д.А. Новиков, Г.И. Грицко, А.Ф. Сухорукова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, Москва: ВНИИОЭНГ, 2008. Т.6. С. 50–55.
40. Дуранте, М.В. Положение основных геохронологических рубежей во флороносных отложениях верхнего палеозоя Кузбасса (состояние проблемы) //

Кузбасс - ключевой район в стратиграфии верхнего палеозоя Ангариды. Новосибирск. 1996. С. 23–35.

41. Бабин, Г.А. Геологическая карта Кемеровской области. М 1:500000. ФГУП «Запсибгеолсъемка», 2007.

42. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-45 – Новокузнецк. СПб.: картфабрика ВСЕГЕИ, 2007.

43. Усов, М.А. Тектоника Кузбасса // Проблемы советской геологии. М., 1935. Т.5, №2. С. 118–134.

44. Конторович, А.Э. Геология и полезные ископаемые России. Т.2, Западная Сибирь / Гл. ред. В.П. Орлов. // СПб: ВСЕГЕИ, 2000. 477 с.

45. Геологический словарь / Гл. ред. О. В. Петров. — 3-е изд., перераб. и доп. // СПб.: ВСЕГЕИ, 2010.

46. Островский, Л. А. Принципы гидрогеологической стратификации бассейнов подземных вод: (Метод. письмо) // ВНИИ гидрогеологии и инж. геологии, 1989. С. 31.

47. Будников, В.И. Факторы, определяющие качество поровых коллекторов (на примере Кузбасса) // Методика изучения коллекторов и коллекторских свойств пород нефтегазоносных районов Сибири. Труды СНИИГГИМСа, серия Нефтегазовая геология, вып. 33. Новосибирск, 1966. С. 29–40.

48. Аммосов, И.И. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. (Кузнецкий, Горловский и другие угольные месторождения Западной Сибири) // М.: Недра, 1969. Т.7. 912 с.

49. Пургина, Д.В., Оценка изменения гидрогеологических условий на поле шахты им. С.Д. Тихого / Д.В. Пургина, К.И. Кузеванов // Г 36 Геология, геоэкология, эволюционная география, 2016. С. 58.

50. Михеева, Е.В. Особенности гидродинамических полей Риспадского карьера, шахты и подземных водозаборов (Кузбасс) // Проблемы геологии и освоения недр. Томск: ТПУ, 2012. С. 576–578.

51. Шварцев, С.Л. Гидрогеология Ерунаковского района Кузбасса в связи с проблемой образования ресурсов и добычи угольного метана / Шварцев С.Л., Хрюкин В.Т., Домрочева Е.В., Кузеванов К.И., Рассказов Н.М., Попова Т.С., Лепокурова О.Е., Швачко Е.В. // Геология и геофизика, 2006. Т.47, №7. С. 881–891.

52. Отчет по результатам поисковых работ и геолого-промысловых исследований на площадях, подготавливаемых к опытно-промышленной добыче метана из угольных пластов в Ерунаковском районе Кузбасса. Т. 1 и 2. Кемерово: ЗАО «Метан Кузбасса», 2002. 355 с.

53. Шварцев, С. Л. Взаимодействие воды с алюмосиликатными горными породами. Обзор // Геология и геофизика. Изд-во СО РАН, 1991. № 12. С. 16-50.

54. Домрочева, Е.В. Гидрогеохимические особенности угольных районов юга Кузбасса: диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Томск: ТПУ, 2005. 178 с.

55. Горелов, А.А. Концепции современного естествознания. М.: Изд-во Юрайт, 2015. 355 с.

56. Darcy, H. Determination of the laws of flow of water through sand // Phys. Hydrol. Hutchinson Ross. Stroudsburg: PA, 1983.

57. Darcy, H. Les Fontaines publiques de la ville de Dijon (The Public Fountains of the City of Dijon), English translation by Patricia Bobeck, Kendall. Hunt Publishing Co, 2004.

58. Жернов, И.Е. Моделирование фильтрации подземных вод / И.Е. Жернов, В.М. Шестаков. М.: Недра, 1971. 192 с.

59. Лукнер, Л. Моделирование миграции подземных вод / Л. Лукнер, В.М.Шестаков. М.: Недра, 1986. 208 с.

60. Гавич, И.К. Оценка гидрогеологических особенностей района путём моделирования // Применение вычислительной техники при гидрогеологических исследованиях. М.: Недра, 1969. С. 76–84.

61. Гавич, И.К. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод методом моделирования. М.: ВИЭМС, 1972. 98 с.

62. Гавич, И.К. Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. М.: Недра, 1980. 358 с.
63. Ломакин, Е.А. Численное моделирование геофильтрации / Е.А. Ломакин, В.А. Мироненко, В.М. Шестаков. М.: Недра, 1988. 228 с.
64. Шестаков, В.М. Гидрогеодинамика. М.: КДУ, 2009. 334 с.
65. Мироненко, В.А. Гидрогеологические исследования в горном деле / В.А. Мироненко, Ю.А. Норватов, Л.И. Сердюков. М.: Недра, 1976. 352 с.
66. Ленченко, Н.Н. Динамика подземных вод (теоретический курс) М.: Изд-во Московского государственного геологоразведочного ун-та, 2008. 212 с.
67. Букаты, М.Б. Рекламно-техническое описание программного комплекса HydroGeo // М.: ВНИИЦ, 1999. 5 с.
68. Букаты, М.Б. Геоинформационные системы и математическое моделирование // Томск: Изд-во ТПУ, 2002. 75 с.
69. Букаты, М.Б. Разработка программного обеспечения для решения гидрогеологических задач // Инжиниринг георесурсов. Известия ТПУ, 2002. Т.305, №6. С. 348-365.
70. Гриневский, С.О. Гидрогеодинамическое моделирование взаимодействия подземных и поверхностных вод. М.: Инфра-М, 2012. 152 с.
71. Гриневский, С.О. Оценка естественных ресурсов подземных вод на основе геогидрологического моделирования инфильтрационного питания / С.О. Гриневский, Я.В. Иванова, А.О. Сафонов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2016. №5. С. 45–52.
72. Санников, Р.Х. Теория подобия и моделирования. Планирование инженерного эксперимента // Уфа: Изд-во УГНТУ, 2010. 271 с.
73. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода. Т. 1: Система вода-порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование / ред. С.Л. Шварцев. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 244 с.
74. Попов, В.К. Гидрогеология угольных бассейнов Сибири / В.К. Попов, Г.М. Рогов, В.П. Дегтярев // Тезисы докладов Всесоюзного совещания по

подземным водам востока СССР (XIII совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока). Иркутск-Томск, 1991. С. 71.

75. Зайцев, И.К. Принципы гидрогеологического районирования и типизация гидрогеологических структур // Труды ВСЕГЕИ, 1974. Т.229. С. 5–9.

76. Лукин, А.А. Опыт разработки методики морфоструктурно-гидрогеологического анализа. – Новосибирск: Наука, 1987. 112 с.

77. Лукин, А.А. Методика построения крупномасштабных карт гидроизогипс на основе модели морфоструктуры рельефа / Ан.Ал. Лукин, Ал.Ан. Лукин, А.А. Лимарева // Инжиниринг георесурсов. Известия ТПУ. Томск: Изд-во ТПУ, 2015. Т.326, № 2. С.136-147.

78. Лукин, А.А. Гидрогеологическое прогнозирование и морфоструктурно-гидрогеологический анализ. Томск: Изд-во ТПУ, 1995. 48 с.

79. Werner, M. Shuttle radar topography mission (SRTM) mission overview // Frequenz. De Gruyter, 2001. V.55, No.4. P. 75–79.

80. Гридасов, А.Г. Изученность гидрогеологических условий добычи угольного метана на Чалтокомском участке (Кузбасс) / А.Г. Гридасов, М.С. Воротынцев // Материалы VII Всероссийской научной студенческой конференции им. профессора М.К. Коровина.- Томск: Изд-во ТПУ, 2014. С.38-40.

81. Гридасов, А.Г. Результаты гидродинамических исследований структурной скважины №СН15 на Чалтокомском участке работ по поиску угольного метана (Кузбасс) // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVIII Международного симпозиума им. акад. М.А. Усова. Т.1. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. С. 442-444.

82. Гридасов, А.Г. Гидрогеологические условия Подобасско-Тутуянской депрессии в связи с перспективой добычи метана из угольных пластов (Южный Кузбасс) // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIX Международного симпозиума им. акад. М.А. Усова. Т.1. Томск: Изд-во ТПУ, 2015. С. 372–374.

83. Гридасов, А.Г. Условия формирования запасов подземных вод Тутуянского месторождения (Южный Кузбасс) // Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии: Материалы

Всероссийской конференции с международным участием. - Томск: Изд-во ТПУ, 2015. С. 688-692

84. Василенко, Т.А. Динамика трещиновато-пористой структуры угля и ее влияние на кинетику массопереноса метана в углепородном массиве / Т.А. Василенко, В.Г. Гринёв, Э.П. Фельдман, Н.А. Калугина, Т.В. Пичка // Збірник наукових праць УкрДГРІ. 2016. Т.1. С. 81–89.

85. Дегтярев, В.П. Типизация гидрогеологических условий отработок угля в Кузбассе и формирование антропогенной зональности на разрабатываемых месторождениях // Вестник ТГАСУ, 2001. Т.1. С. 147–153.

86. Рогов, Г.М. Гидрогеология Кузнецкого угольного бассейна: дис. докт. геол.- мин. наук. Томск: МГРИ; ТПИ, 1966. 280 с.

87. Гавич, И.К. Гидрогеодинамика. М.: Недра, 1988. 349 с.

88. Гидрогеологическая карта Кемеровской области. Масштаб 1:200000. Новокузнецк: ЗСГУ, 2004.

89. Coal seam methane [Electronic resource]. 2016. URL: <https://www.worldcoal.org/coal/coal-seam-methane> (дата обращения: 20.04.2018).

90. Зайцев, В.А. Особенности построения 3-х мерных геологических моделей метаноугольных месторождений (на примере Распадской площади, Кузбасс) / В.А. Зайцев, А.В. Зайцев, С.Ю. Гершаник, П.С. Карасев // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2009. Т.12. С. 400–413.

91. Гридасов, А.Г. Гидрогеологические условия добычи угольного метана на примере перспективных площадей Южного Кузбасса // Трофимуковские чтения. СО РАН, Институт нефтегазовой геологии и геофизики. - Новосибирск: РИЦ НГУ, 2015. - С.101-104.

92. Гридасов, А.Г. Схематизация гидрогеологических условий на участках добычи угольного метана в Кузбассе для обоснования прогнозных гидродинамических расчётов / А.Г. Гридасов, К.И. Кузеванов // Вестник КузГТУ, 2017. № 3 (121). С. 12–21.

93. Пучков, Л.А. Извлечение метана из угольных пластов / Л.А. Пучков, С.В. Сластунов, К.С. Коликов. М.: Горная книга МГГУ, 2002. 383 с.

94. Kaiser, W.R. Geological and hydrological controls on the producibility of coalbed methane // J. Geol. Soc. London, 1994. V.151, No.3. P. 417–420.
95. Frost, C.D. Sr isotope tracing of aquifer interactions in an area of accelerating coal-bed methane production, Powder River Basin, Wyoming // Geology. Geological Society of America, 2002. V.30, No.10. P. 923–926.
96. Taulis, M. Chemical variability of groundwater samples collected from a coal seam gas exploration well, Maramarua, New Zealand / M. Taulis, M. Milke // Water Res. 2013. V. 47, No.3. P. 1021–1034.
97. Anna, L.O. Groundwater flow associated with coalbed gas production, Ferron Sandstone, east-central Utah // Int. J. Coal Geol. 2003. V.56, No.2. P. 69–95.
98. Van Voast, W.A. Geochemical signature of formation waters associated with coalbed methane // American Association of Geologists, 2003. V.87, No.4. P. 667–676.
99. Домрочева, Е.В. Равновесия содовых подземных вод угленосных отложений Нарыкско-Осташкинской площади (Кузбасс) с минералами вмещающих пород / Е.В. Домрочева, О.Е. Лепокурова // Вестник ТГУ. Томск: Изд-во ТГУ, 2015. № 390. С. 211-217.
100. Cheung, K. Produced fluids and shallow groundwater in coalbed methane (CBM) producing regions of Alberta, Canada: Trace element and rare earth element geochemistry // Int. J. Coal Geol. 2009. V. 77, No. 3–4. P. 338–349.
101. Дмитриевская, Т.В. Проблемы добычи метана из угольных пластов и новейшая геодинамика на примере Талдинского месторождения (Южный Кузбасс) / Т.В. Дмитриевская, С.Г. Рябухина, В.А. Зайцев // Геология нефти и газа. М.: ВНИГНИ, 2012. № 4. С. 85–91.
102. Норватов, Ю.А. Изучение и прогноз техногенного режима подземных вод при освоении месторождений полезных ископаемых. Л.: Недра, 1988. 261 с.
103. Гридасов, А.Г. Модель формирования водопритока к угольнометановым скважинам в природных условиях юга Кузнецкого бассейна // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума им. акад. М.А. Усова. Т.1. Томск: Изд-во ТПУ, 2017. С. 450–452.
104. Modflow conceptual model approach / GMS Tutorial. Aquaveo, 2011. 23p.