

На правах рукописи



Белов Константин Владимирович

**ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ПОЛИГОНА ПО
ЗАХОРОНЕНИЮ ЖИДКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В
СЛОЖНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ (на примере Теча-
Бродской структуры, район Производственного объединения «Маяк»)**

Специальность 25.00.07 - Гидрогеология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва, 2012

Работа выполнена на кафедре гидрогеологии Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (РГГРУ).

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, профессор **Лисёнков Александр Борисович**.

Официальные оппоненты: **Колотов Борис Александрович**, доктор геолого-минералогических наук.
Токарев Игорь Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук.


Ведущая организация: **ОАО «ВНИИПромтехнологии»**.

Защита состоится «27» апреля 2012 года в ⁰⁰ часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций ДМ 212.121.01 при Российском государственном геологоразведочном университете им. Серго Орджоникидзе по адресу: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, ауд. 4-73.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГГРУ по адресу: г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.23, 3 этаж.

Автореферат разослан « » марта 2012 г.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просьба направлять по адресу: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, ученому секретарю Диссертационного совета ДМ 212.121.01.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент  О.Е. Вязкова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. На территории ФГУП ПО «Маяк» на Урале к настоящему моменту сложилась неблагоприятная экологическая обстановка, связанная с переполнением поверхностных хранилищ жидких промышленных отходов.

Одним из способов улучшения экологической обстановки является изоляция жидких отходов от сферы активной жизнедеятельности человека посредством захоронения жидких отходов в глубокозалегающие геологические формации на специально оборудованных полигонах захоронения. Обеспечение безопасности – одно из главных требований как непосредственно в период функционирования полигона по захоронению (составляющего около 25 лет), так и в долгосрочной перспективе, измеряющейся тысячами лет.

Требования охраны природы и консервация водоёмов В-9 и В-17 (хранилищ жидких радиоактивных отходов) подразумевают отказ от сброса в открытые поверхностные хранилища дренажных вод с промплощадки комбината и тритиевого конденсата от переработки отработанного ядерного топлива (ОЯТ). Дренажные воды и тритиевый конденсат не подпадают в категорию жидких радиоактивных отходов (ОСПОРБ-99/2010). Обоснованные решения по обращению с дренажными водами и тритиевым конденсатом пока отсутствуют. В настоящее время эти воды сбрасываются в промышленные водоёмы В-9 и В-17. Объём сбросов составляет около 300 тыс. м³/год (среднесуточный сброс около 821 м³). Валовые содержания солей в этих отходах до 800 тонн в год (среднее содержание около 4 г/л). Сброс дренажных вод в Теченский каскад водоёмов (ТКВ) после окончания консервации промышленных водоёмов В-9 и В-17 приведет к засолению ТКВ и замедлению в несколько раз темпов их естественной дезактивации (по стронцию-90).

Вопрос удаления жидких промышленных отходов «ПО «Маяк» в глубокие геологические формации изучался в начале 60-х гг. ФГУПП «Гидроспецгеология». Для оценки возможности глубинного захоронения жидких промышленных отходов были проведены комплексные гидрогеологические исследования на территории Теча-Бродской структуры (Соболевской синклинали), расположенной вблизи ФГУП ПО «Маяк». По результатам исследований карбонатные коллекторы Теча-Бродской структуры были признаны непригодными для захоронения жидких промышленных отходов по причине гидродинамической связи пласта-коллектора и зоны активного водообмена.

К вопросу о возможности захоронения жидких промышленных отходов на территории Теча-Бродской структуре вернулись в 2007 году в связи с остротой проблемы утилизации и хранения жидких промышленных отходов ФГУП ПО «Маяк».

Для решения задачи захоронения жидких промышленных отходов в сложных гидрогеологических условиях в ФГУПП «Гидроспецгеология» было решено применить нестандартный подход, заключающийся в том, чтобы существенно повысить плотность (удельный вес) захораниваемых растворов по сравнению с плотностью подземных вод пласта-коллектора, что позволит локализовать их в нижней части проницаемой глубинной карстовой зоны Теча-Бродской структуры.

Дополнительным благоприятным условием для решения задачи безопасного захоронения промстоков является наличие залеченных пластин Аргаяшского надвига, представленных слабопроницаемыми породами.

Комплекс выполненных исследований позволяет утверждать о безопасности захоронения жидких промышленных отходов в сложных гидрогеологических условиях.

Цель работы - на основании результатов исследований Теча-Бродской структуры комплексом методов (геофизических, геохимических, математического моделирования) доказать возможность безопасного захоронения жидких промышленных стоков, выбрать оптимальное место заложения и обосновать конструкцию разведочной скважины.

Основные задачи исследований:

1. Систематизировать данные исследований за более полувековой период изучения территории, выполнить анализ данных.

2. Дать оценку сходимости материалов о геологическом строении предыдущих исследований с данными, полученными в ходе работ в настоящее время.

3. Создать на основе имеющегося материала профильную модель участка закачки и выполнить тестовое моделирование для трёх вариантов плотности закачиваемой жидкости.

4. На основании профильного математического моделирования оценить влияние «плотностного» эффекта и влияние Аргаяшского надвига на формирование залежи из жидких отходов.

5. Сделать вывод о безопасности захоронения жидких отходов ПО «Маяк» в карбонатных породах Теча-Бродской структуры на основании комплекса исследований (геофизических, геохимических, численного моделирования).

6. На основании комплексных данных о геологическом строении выбрать оптимальный участок заложения разведочных скважин, предложить способ проводки и освоения продуктивного горизонта.

Объектом исследований является наиболее погруженная часть Теча-Бродской структуры, перекрытая тектоническими пластинами Аргаяшского надвига. **Предметом исследований** является комплексная оценка безопасности удаления в наиболее погруженную часть структуры жидких промышленных стоков.

Фактическим материалом для написания работы послужили данные ФГУП «Гидроспецгеология» о геолого-гидрогеологическом изучении Теча-Бродской структуры с 60-х годов прошлого века и результаты, полученные в ходе геолого-разведочных работ периода 2008-2011 годов. Использовались материалы исследований, полученные в период эксплуатации полигонов подземного захоронения Сибирского химического комбината, Горно-химического комбината, Научно-исследовательского института атомных реакторов и других полигонов подземного захоронения. В написании работы использовались результаты лабораторных исследований в аккредитованных лабораториях (ИПТМ РАН, Геологический институт КНЦ РАН, ФГУП "ВСЕГИНГЕО" и др.).

Методы исследований. При решении поставленных задач использовались как традиционные геофизические методы (по методу МОГТ и гравиразведка), так и метод сейсмической локации бокового обзора (СЛБО), ранее не применявшийся при изучении трещиноватости геосреды для подобных объектов. При непосредственном участии автора выполнены гидрогеохимические исследования с отбором проб воды на определение общего химического состава и на изотопные исследования.

Для выполнения и оформления работы использовались следующие стандартные пакеты программ: ArcGIS 10, Surfer 9.0, CorelDraw X4, Microsoft Office 2010, PMWin5.1, MT3DMS.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Впервые предложено использовать для создания полигона подземного захоронения жидких отходов не отвечающую «общепринятым» требованиям геологическую структуру. Использование «плотностного» эффекта позволит сформировать залежь из отходов, устойчивую к вовлечению в региональный поток подземных вод.

2. Обоснована гидродинамическая роль тектонического нарушения – Аргаяшского надвига. По результатам моделирования в поднадвиговой части формируется зона с затруднённым водообменом, что является благоприятным фактором, влияющим на безопасность захоронения.

3. Комплексным подходом обоснована безопасность захоронения жидких отходов в наиболее погруженной части структуры, предложена оригинальная схема проводки разведочных скважин к пласту-коллектору.

Практическая значимость работы.

Предложено практическое решение проблемы обращения с жидкими стоками Производственного объединения «Маяк», обеспечивающее снижение техногенной нагрузки на окружающую среду и её оздоровление. Проведённый комплекс работ направлен на улучшение экологической обстановки в регионе.

Защищаемые положения:

1. Безопасность и перспективность создания полигона по захоронению жидких промышленных отходов в сложных гидрогеологических условиях обоснована достаточным комплексом методов. Геофизическими исследованиями выявлены закономерности геологического строения перспективного участка, гидрогеохимическими исследованиями определены минерализация и «возраст» гидросферы, результаты математического моделирования показали возможность создания «залежи» из высокоплотных отходов, результаты гелиевой и радон-тороновой съёмок не выявили активных геотектонических зон;

2. В ходе сопоставления гидрогеологических условий Теча-Бродской структуры с условиями натурной эталонной модели-аналога хранилища среднеактивных отходов озера Карачай, выявлены факторы, свидетельствующие о возможности безопасного размещения жидких отходов ПО «Маяк» в наиболее погруженной части Теча-Бродской структуры при определённом повышении плотности отходов относительно плотности подземных вод. Результаты численного математического моделирования подтверждают сделанные выводы;

3. Обоснована принципиальная возможность сооружения и конструкция нагнетательных скважин для закачки утяжелённых жидких промышленных отходов в пределах Теча-Бродской структуры. Проведен ориентировочный расчёт затрат на сооружение разведочных скважин. Выполненные работы позволяют перейти на следующую стадию по созданию полигона подземного захоронения – разведочному бурению.

Личный вклад автора.

Автор принимал непосредственное участие в организации всех видов работ, результаты которых приведены в диссертации. Автор работы проводил гидрогеохимическое опробование глубоких скважин. Личный вклад автора состоял

также в сборе и анализе многосторонних данных о геолого-гидрогеологических условиях Теча-Бродской структуры, накопленных за длительный период изучения; участии в создании математической модели, в формулировании выводов по результатам работы.

Апробация работы.

Основные результаты диссертационной работы представлены на Годичной научной конференции Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова (Москва, 2010, 2011), V Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Молодые-наукам о Земле (Москва, 2010), доложены на X Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле», (Москва, 2011), Заседаниях секции №3 ФГУГП «Гидроспецгеология (2010, 2011).

Публикации.

Основное содержание работы опубликовано в 2 статьях в печатных изданиях (1 рекомендовано ВАК), 4 тезисах докладов, 2 заключительных отчётах о НИР и ряде промежуточных.

Структура и объём работы.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы, включающего 104 наименования. Материал работы изложен на 167 страницах, включая 43 рисунка и 15 таблиц.

Автор выражает глубокую благодарность профессору кафедры гидрогеологии РГГРУ А.Б. Лисёнкову, под руководством которого осуществлялась работа над диссертацией.

Автор благодарит сотрудников кафедры гидрогеологии РГГРУ: заведующего кафедрой, профессора В.М. Швеца, профессора Грабовникова В.А., зав. лабораторией Головина В.В.

Автор выражает глубокую признательность за помощь при написании диссертации руководству и сотрудникам предприятия ФГУГП «Гидроспецгеология»: к. т. н. Глинскому М.Л., Тер-Саакяну С.А., д. г.-м. н. Куваеву А.А., Глаголеву А.В., к.ф.-м.н. Дрожко Е.Г., д.т.н. Прозорову Л.Б., к. г.- м. н. Ястребкову А.Ю., к. г.- м. н. Зильберштейну Б.М., к. г.- м. н. Егорову Н.Н.

При написании работы неоценимую помощь оказали к. г.- м. н. Тарасов Н.Н. (ИГЕМ РАН), д. б. н. Назаров А.Г. (ИИЕТ РАН), к. т. н Прохоренко В.В. (ВНИИБТ), Гряколов А.П. (ВНИИБТ) и др.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определена цель и обозначены задачи, которые стоят для достижения цели исследований, перечислены выносимые на защиту положения, представлена структура диссертации.

В первой главе представлен анализ опыта утилизации жидких промышленных отходов на отечественных и зарубежных предприятиях. Особое место уделено анализу опыта на предприятиях атомной отрасли, ввиду опасности образующихся в отрасли отходов.

Отечественный опыт рассмотрен на нескольких комбинатах, основными из которых, являются два – Сибирский химический комбинат (СХК) и Горно-Химический комбинат (ГХК). Комбинаты имеют полигоны по закачке жидких радиоактивных отходов, которые характеризуются сложностью геологического строения и гидрогеологическими условиями формально не соответствующими существующим требованиям к участкам захоронения. Такое положение обусловлено

тем обстоятельством, что при выборе местоположения комбинатов вопрос о подземном захоронении отходов не рассматривался. Он возник, когда в первые годы работы предприятия обнаружались серьезные трудности при обращении с большими объемами жидких отходов.

За многолетний период эксплуатации полигонов были решены две серьезные проблемы: во-первых, в непосредственной среде обитания человека не накапливается большое количество опасных радиоактивных стоков, а во-вторых, строительством полигонов удалось избежать сооружения потенциально опасных поверхностных хранилищ и бассейнов, тем самым не допустив возможного повторения радиационных аварий, случившихся на ПО «Маяк» 1957 и 1967 гг.

Зарубежный опыт также свидетельствует о наличии серьезных проблем при обращении с радиоактивными отходами. Наиболее богатый опыт по обращению с радиоактивными отходами накоплен у США, Франции и Германии. Однако и здесь данный вопрос не решен окончательно.

Во второй главе приводится описание геологического строения и гидрогеологических условий Теча-Бродской структуры.

Теча-Бродская структура (Соболевская синклинали) сложена неравномерно закарстованными карбонатными породами нижнего и среднего отделов каменноугольной системы. Мощность карбонатных отложений по данным бурения составляет более 1800 м. В плане карбонатная толща ограничена слабопроницаемыми отложениями: с запада отложениями сергайдинской и назировской свитами силурийского возраста, с востока - асановской и султановской толщами девонского возраста (Рис. 1).

Западное крыло синклинали срезано Аргаяшским надвигом (Рис. 1, Рис. 2). Вертикальная амплитуда перемещения по имеющимся оценкам может составлять 1200–1500 м, горизонтальная амплитуда перемещения по надвигу оценивается в 8–10 км.

На изучаемой территории развиты два типа подземных вод: первый тип - приурочен к рыхлым отложениям, второй тип приурочен - к массиву трещиноватых пород.

Регионально выдержанного водоупора на территории развития карбонатного комплекса Теча-Бродской структуры не прослеживается. Коренные породы обводнены неравномерно. Обводненность вулканогенно-осадочных и интрузивных пород западного и восточного бортов структуры приурочена к верхней трещиноватой части разреза до глубин 150-200 метров. Ниже трещиноватость затухает и породы становятся практически водоупорными.

В терригенно-карбонатных породах, слагающих центральную часть Теча-Бродской структуры, водоносные горизонты приурочены к трещиноватой и закарстованной части массива. Обводнены терригенно-карбонатные породы на глубину 2 км.

Отложения характеризуются неравномерным изменением фильтрационных свойств как в плане, так и в разрезе.

В рыхлых отложениях выделяется водоносный горизонт, приуроченный к песчано-глинистым четвертичным отложениям (edQ_{III-IV} , aQ_{III-IV} , laQ_{III-IV}) и водоносный горизонт, развитый в образованиях коры выветривания мезокайнозойского возраста ($eMz-Kz$). Водоносные горизонты, выделенные в толще рыхлых отложений, гидравлически связаны как с поверхностными водами, так и с

водоносными горизонтами коренных пород. Фактически они представляют собой единый водоносный комплекс с общим уровнем, структурой потока и гидрохимическими условиями. Максимальная мощность горизонтов не превышает 20 метров. Водоносный горизонт - напорно-безнапорный. Коэффициент фильтрации изменяется от 0,1 до 20 м/сут. Воды пресные с минерализацией 0,2-0,5 г/л.

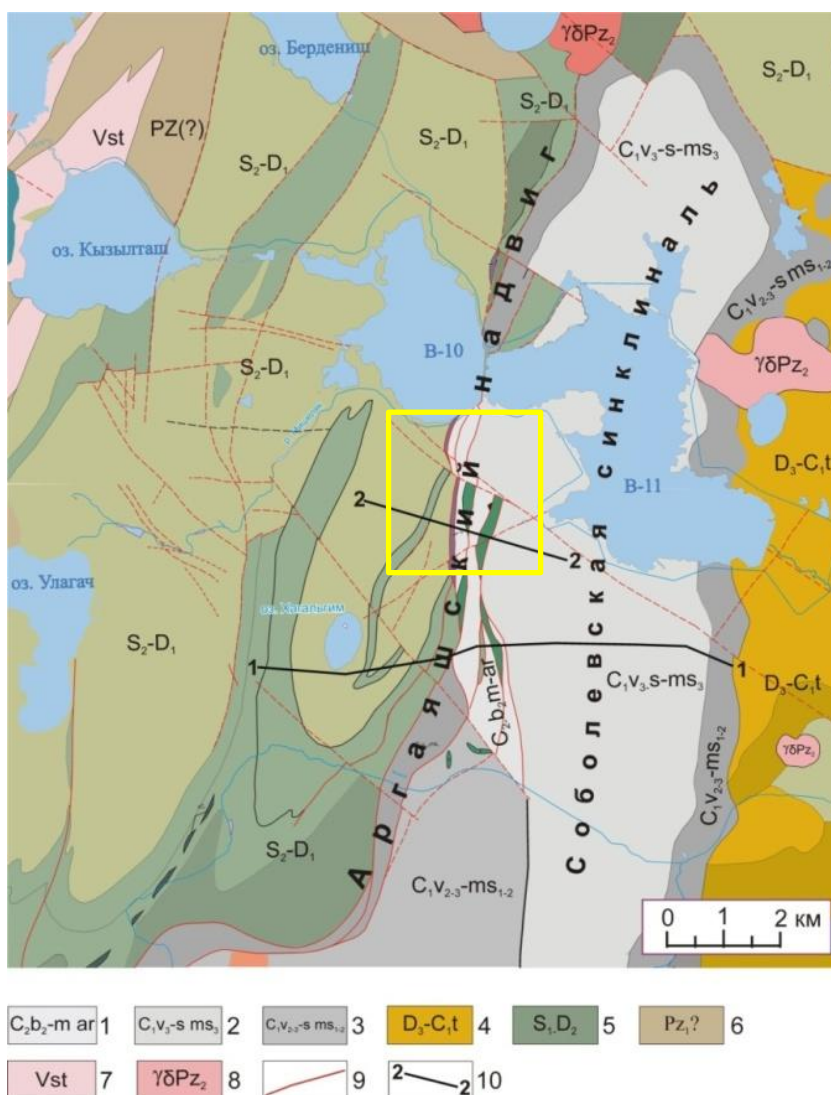


Рис. 1 - Схематическая геологическая карта Теча-Бродской структуры (по данным ИГЕМ РАН). Желтым цветом выделен участок проведения детальных работ.

Условные обозначения к рисунку 1: 1 - Средний отдел каменноугольной системы. Аргаяшская свита. Известняковые песчаники и гравелиты, мергели, песчанистые известняки. 2 - Нижний отдел каменноугольной системы. Миасская свита. Верхняя подсвита. Известняки серые органогенно-обломочные, черные и темно-серые битуминозные, прослой доломитизированных и песчанистых известняков. 3 - Нижний отдел каменноугольной системы. Лавы, туфы, туфогенные песчаники и алевролиты, прослой песчанистых и глинистых известняков, известняки. 4 - Образования верхнего девона-нижнего карбона. Порфириды, вулканомиктовые песчаники, алевролиты, конгломераты. 5 - Образования силур-девонского возраста. Лавы и туфы порфиридов, мраморы, мраморизованные известняки. 6 - Нерасчлененные образования палеозойского (?) возраста. Сланцы, туфы и лавы порфиридов, мраморы, мраморизованные известняки. 7 - Венд. Сайтовская толща. Плагосланцы, мраморы, кварциты. 8 - Интрузивные образования. 9 - Разрывные нарушения. 10 - Линия разреза.

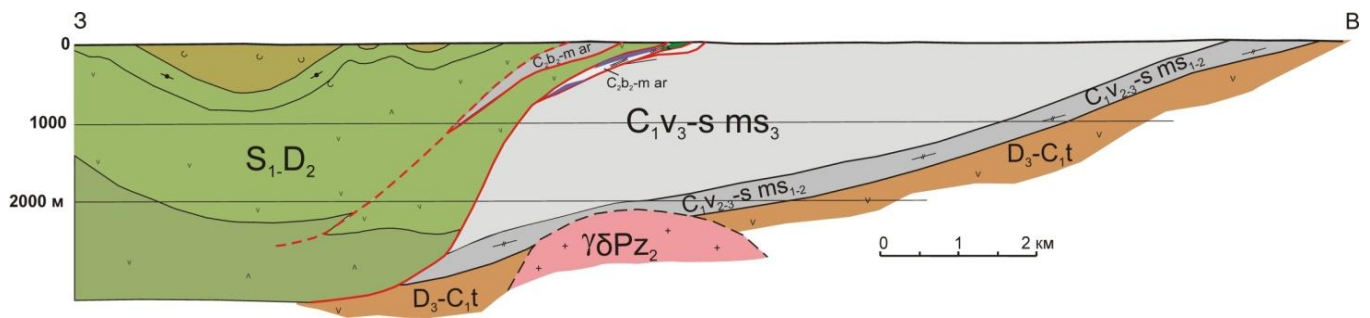


Рис. 2 - Схематический геологический разрез по линии 1 – 1 (по материалам изучения 2010-2011 гг.). Условные обозначения к рис. 1.

В трещиноватых коренных породах выделяются пять водоносных горизонтов:

1. Водоносный горизонт, развитый в вулканогенно-осадочных отложениях среднего карбона (C_2b_2) и слагающий западное крыло структуры;
2. Водоносный горизонт, развитый в отложениях карбонатной свиты нижнего карбона ($C_1v_{2-3-s} ms_3$) слагающий центральную часть структуры;
3. Водоносный горизонт, развитый в отложениях терригенной свиты нижнего карбона ($C_1v_{2-3-s} ms_{1-2}$) слагающий западное и восточное крылья структуры;
4. Водоносный горизонт, развитый в вулканогенно-осадочных отложениях верхнего девона - нижнего карбона (D_3-C_1t), подстилающих структуру и выходящий на дневную поверхность на её восточном крыле;
5. Водоносный горизонт, развитый в вулканогенно-осадочных отложениях силурийского и раннедевонского возраста ($S-D_1$), слагающих западное крыло структуры и представляющих толщу надвинутых пород.

Центральную часть Теча-Бродской структуры слагает водоносный горизонт, развитый в отложениях карбонатной свиты нижнего карбона ($C_1v_{2-3}ms_3$). Гидрогеологические условия данной толщи являются определяющими при организации полигона подземного захоронения жидких промышленных отходов.

В целом подземные воды этого водоносного горизонта приурочены к наиболее трещиноватым и закарстованным зонам пород. Мощность пород карбонатной толщи колеблется в широких пределах: в западной и центральной частях структуры достигает 1800 метров, на севере и востоке уменьшается до 100-300 метров.

По данным геофизических и гидрогеологических исследований карбонатная толща условно подразделена на верхнюю и нижнюю части. Верхняя часть – хорошо проницаемая, нижняя – менее проницаемая, по сравнению с верхней. Мощность верхней толщи достигает 600 метров, составляя в среднем 300-400 метров. Проницаемые интервалы представлены, в основном, трещиновато-кавернозными известняками и доломитами. Все проницаемые горизонты гидравлически связаны между собой и с поверхностными горизонтами. Это объясняется тем, что в основном проницаемость выделенных интервалов обусловлена трещиноватостью, направленность которой близка к вертикальной.

По данным гидрогеологических исследований значение водопроводимости для нижней части карбонатной толщи составляет $km=300$ м²/сут, коэффициент пьезопроводности $a=3,5 \cdot 10^6$ м²/сут и коэффициент фильтрации $K_f=0,5$ м/сут. Те же параметры для верхней части нередко превышают эти параметры на один-два порядка.

В верхней части разреза преобладают воды пресные, гидрокарбонатные. В нижней – воды хлоридно-кальциевые, слабосоленоватые с минерализацией до 3.2 г/л.

Питание подземных вод верхней зоны происходит в основном за счёт инфильтрации атмосферных осадков и талых вод, а также подтока подземных вод водоносных горизонтов палеозойских пород, окаймляющих структуру. Питание глубинной зоны происходит за счёт перетекания вод верхней зоны.

Восточное крыло Теча-Бродской структуры сложено двумя толщами пород: отложениями терригенной свиты нижнего карбона ($C_{1v2.3-s} ms_{1-2}$), представленными песчаниками, гравелитами, глинистыми известняками, доломитами и толщей вулканогенно-осадочных отложений верхнего девона-нижнего карбона (D_3-C_{1t}), представленных порфиритами с маломощными прослоями туфов.

Водоносные горизонты, приуроченные к отложениям этих двух толщ, характеризуются близкими между собой показателями.

В верхней части водоносные горизонты являются коллекторами трещинного типа и приурочены к верхней трещиноватой части разреза, мощность которой составляет 80-120, реже 200 метров.

Глубина залегания уровня подземных вод горизонта колеблется от 5-7 до 27 метров. Воды безнапорные, в верхней части разреза (до глубины 100 метров) гидрокарбонатные, пресные, с минерализацией от 0,2-0,3 до 0,7 г/л. Ниже минерализация увеличивается до 1 г/л и более.

Породы характеризуются высокой степенью фильтрационной неоднородности. Водопроницаемость верхней интенсивно трещиноватой части разреза изменяется от 4-5 до 300 м²/сут. Ниже, с затуханием трещиноватости водопроницаемость уменьшается до 0.7-64 м²/сут. Коэффициенты фильтрации пород терригенной свиты колеблются от 0,003 до 1,8 м/сут.

Породы терригенной свиты и вулканогенно-осадочных отложений слагают основание Теча-Бродской структуры.

Водоносный горизонт в породах терригенной свиты гидравлически связан с водоносными горизонтами верхней зоны пород карбонатной свиты.

Его фильтрационные свойства не изучены. Наличие в составе толщи песчаников, гравелитов, глинистых известняков и доломитов не исключает возможности использования её в качестве пласта-коллектора.

Толща порфиритов с прослоями туфов (D_3-C_{1t}) в фильтрационном плане также не изучена ниже 80-100 метров. Фильтрационные свойства этих пород ниже 200 метров приняты по аналогии с толщей силурийских порфиритов, слагающих западный борт Теча-Бродской структуры. В соответствии с этим предположением ниже 200 метров толща порфиритов (D_3-C_{1t}), слагающих восточный борт структуры и её основания, принимается практически водонепроницаемой.

Западное крыло Теча-Бродской структуры сложено вулканогенно-осадочными отложениями среднего карбона (C_2b_2) и отложениями силурийского и раннедевонского возраста ($S-D_1$).

Отложения среднего карбона представлены песчаниками, гравелитами, алевролитами, аргиллитами и органогенно-обломочными известняками. Подстилается известняками терригенно-карбонатной свиты нижнего карбона. Максимальная мощность отложений 500 метров.

Максимальная водообильность приурочена к верхней (до глубины 100-120 метров) части разреза, где породы трещиноваты и местами закарстованы. Ниже, с затуханием трещиноватости, вмещающие толщи становятся слабо трещиноватыми и монолитными.

Глубина залегания подземных вод от 5 до 35 метров. Воды безнапорные, гидрокарбонатные, пресные, с минерализацией 0,2-0,4 г/л.

Водообильность пород невысокая. Коэффициенты фильтрации пород колеблются от 0,006 до 0,4 м/сут.

Питание водоносного горизонта происходит за счёт атмосферных осадков. Водоносный горизонт в породах среднекаменноугольного возраста гидравлически связан с подземными водами верхней зоны трещиноватых и закарстованных известняков терригенно-карбонатной свиты центральной зоны Теча-Бродской структуры.

Отложения силурийского и раннедевонского возраста представлены эффузивными и метаморфическими породами (туфоалевролиты, туффиты, туфы и кремнистые сланцы). Толща этих пород надвинута по тектоническому нарушению на средне-нижекаменноугольные отложения.

С поверхности они перекрыты маломощным чехлом (от 5 до 20 метров) песчано-глинистых отложений.

Породы массивные, в верхней части разреза сильнотрещиноватые. Степень трещиноватости пород уменьшается с глубиной. Основное количество открытых трещин сосредоточено в верхней части разреза до глубин 60-70 м.

Различная степень трещиноватости пород обуславливает их неоднородность по водопроницаемости. Коэффициенты водопроницаемости варьируют в диапазоне от 0,01 до 800 м²/сут, величина коэффициента фильтрации уменьшается с глубиной. Наиболее проницаемые породы находятся в интервале 10-40 метров. Мощность водоносного горизонта составляет порядка 80-100 метров.

В результате проведённых исследований также было установлено, что для массива коренных пород характерна анизотропия водопроницаемости, как в плане, так и в разрезе. Иногда коэффициент фильтрации в вертикальном направлении почти на порядок превышает коэффициент фильтрации по латерали. Коэффициент уровнепроводности для водоносного горизонта изменяется в пределах 10³-10⁴ м²/сут.

Глубина залегания подземных вод составляет от 2-3 до 7-10 метров.

Водоносный горизонт содержит безнапорные пресные гидрокарбонатные воды с минерализацией 0,2-0,3 г/л.

Питание водоносного горизонта происходит за счёт атмосферных осадков и талых вод в местах выходов девонских пород на поверхность. Разгрузка подземных вод этого горизонта происходит в реки Теча и Мишелюк.

Приведённые данные по гидрогеологическим условиям Теча-Бродской структуры представлены в виде схематического гидрогеологического разреза (Рис. 3).

На разрезе выделены следующие зоны:

- активного водообмена;
- затруднённого водообмена;
- практически водонепроницаемых пород.

Согласно Рис. 3 мощность зоны активного водообмена в породах, слагающих борта Теча-Бродской структуры, не превышает 100 метров. Для толщи карбонатных

пород, слагающих центральную часть структуры, нижняя граница зоны активного водообмена достоверно не определена. Условно она проведена на глубине 400 метров. Границы зон затруднённого водообмена и практически непроницаемых пород для скальных пород, слагающих борта Теча-Бродской структуры, достаточно уверенно определены для силурийских порфировитов западного борта структуры.

Подшвы этих зон залегают соответственно на глубинах от 100 до 200 и глубже 200 метров. По аналогии эти границы приняты и для скальных пород D_3-C_1t .

Для толщи карбонатных пород, слагающих центральную часть Теча-Бродской структуры, кровля зоны затруднённого водообмена принята на отметке 400 метров (появление вод с повышенной минерализацией). Подошвой зоны затруднённого водообмена является кровля терригенных отложений ($C_1v_{2-3}-s ms_1$).

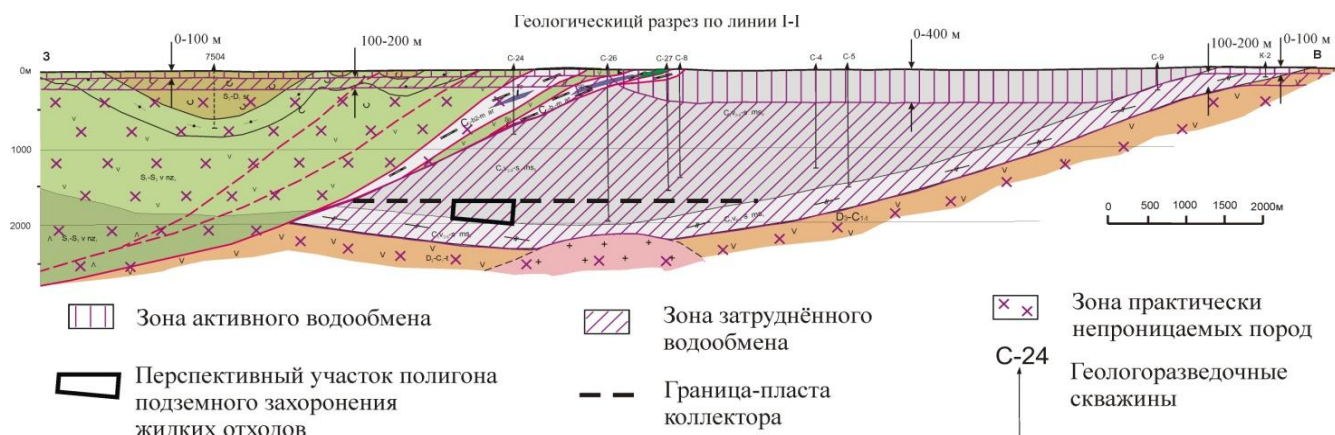


Рис. 3 - Схема гидрогеологической зональности Теча-Бродской структуры (геологический разрез выполнен по материалам изучения 2008-2009 гг.).

В результате анализа данных по гидрогеологическому строению выделенной территории могут быть сформулированы следующие основные факторы, которые обуславливают принципиальную возможность захоронения жидких промышленных отходов на этой площадке:

- значительная мощность комплекса осадочных пород, в составе которого выделяются хорошо проницаемые толщи до глубин 1000-1500 м и ниже залегающие низкопроницаемые слои;
- наличие слабосолёных вод в нижней части проницаемой зоны карбонатных пород, что свидетельствует о затруднённом режиме водообмена;
- залегание толщи карбонатных и терригенных пород, приуроченных к зоне затруднённого водообмена;
- замкнутость водоносных толщ структуры в плане при мульдообразном строении поверхности подстилающего водоупора.

Что касается зоны надвига, то его плоскости скольжения присущи свойства водоупора. Согласно Рис. 3, протяжённость надвига вкост простирания по горизонтали составляет 4-5 км.

В связи с этим, участок опытного полигона захоронения жидких промышленных отходов рекомендуется располагать в 2-2,5 км к западу от границы Аргаяшского надвига в основании толщи карбонатных пород (Рис. 3), расположенной на кровле практически непроницаемых пород.

В третьей главе приводится последовательное описание комплекса методов, использованных для обоснования возможности глубинного захоронения промстоков.

Комплекс детальных наземных геофизических работ методами общей глубинной точки (МОГТ) и сейсмической локации методом бокового обзора (СЛБО) выполнялся с целью уточнения геолого-структурных особенностей участка Теча-Бродской структуры, примыкающего к Аргаяшскому надвигу, выделения зон трещиноватости в пластах коллекторах, в перекрывающей толще вулканогенных пород и непосредственно в зоне контакта этих толщ по плоскости надвига.

На основе анализа сейсмогеологических разрезов и структурных карт распределения поля трещиноватости намечен участок, располагающийся в карбонатно-терригенных породах нижнего карбона под плоскостью Аргаяшского надвига, который рекомендован в качестве перспективного для захоронения жидких промышленных отходов (Рис. 4, Рис. 5). В этом участке шириной около 2 км мощность проницаемых карбонатных и терригенно-карбонатных пород составляет от 200 до 400 м.

В ходе детальных геофизических работ установлено положение крайней восточной ветви надвига, разделяющей карбонатные породы верхнемиасской свиты нижнего карбона от вулканитов силур-девонского возраста. Также уверенно установлен контакт терригенно-карбонатной толщи с нижележащими вулканогенными породами верхнего девона. Этот контакт прослежен под плоскостью надвига до глубины более 3 км.

В северной части исследуемой площади (Рис. 5) под плоскостью надвига в

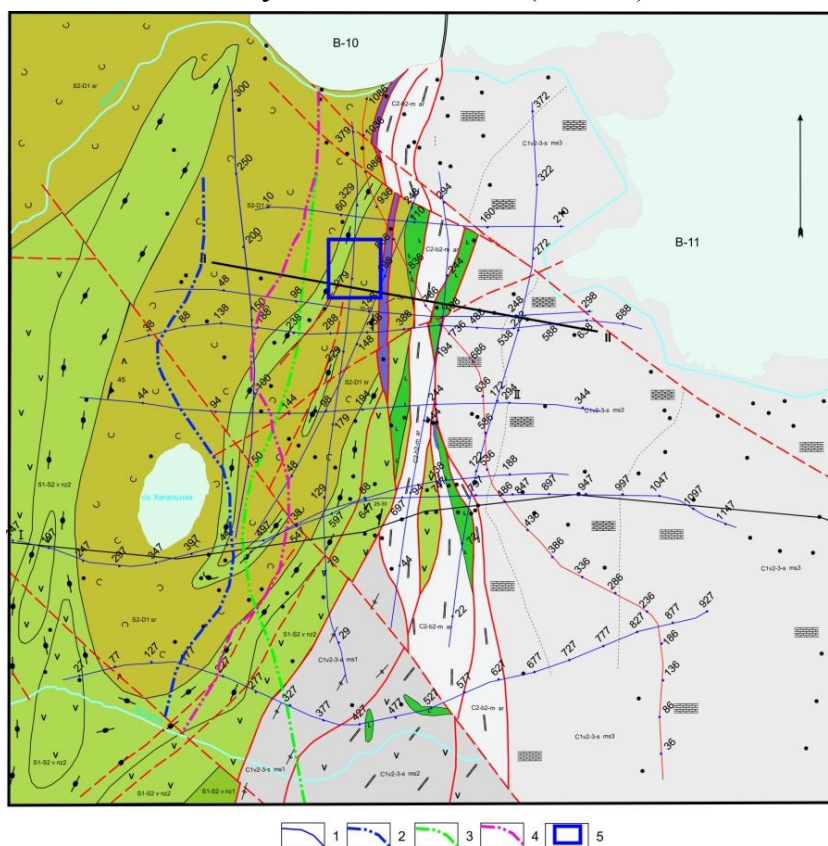


Рис. 4 - Положение перспективного участка по данным СЛБО в ТБС (по материалам исследований 2011 г.).

1- профили МОГТ-2D; 2- линия выклинивания подошвы карбонатных пород по данным сейсмических работ 2008-2009 гг.; 3- линия выклинивания подошвы карбонатных пород по данным сейсмических работ 2011 г; 4- линия выклинивания подошвы терригенных пород по данным сейсмических работ 2011 г; 5- контуры перспективного участка.

интервале глубин от -1600 до -2000 м (подошва карбонатных и кровлю терригенно-карбонатных пород) выделена кольцеобразная зона разуплотненных пород. Разуплотнённая зона рекомендована для закачки жидких промышленных стоков (Рис. 4, Рис. 5). Размеры разуплотнённого массива составляют в плане 400x500 м.

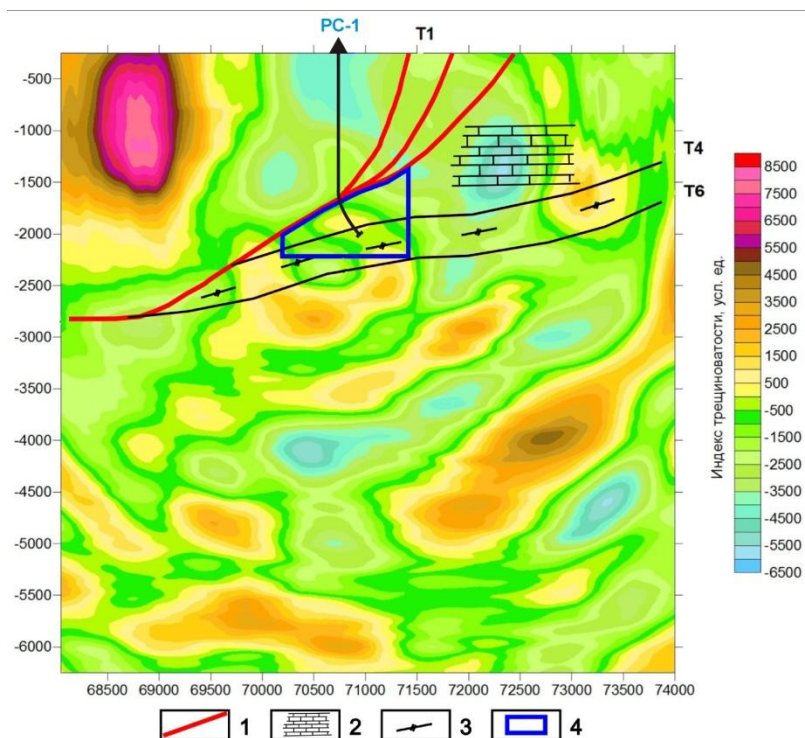


Рис. 5 - Положение перспективного участка под захоронение жидких отходов, относительно распределения поля трещиноватости по данным СЛБО и основных структурных элементов ТБС (по материалам исследований 2011 г.). Желтым цветом показаны зоны разуплотненных пород.

1-разломы Аргаяшского надвига; 2-карбонатные породы верхнемиасской свиты; 3-терригенно-карбонатные породы нижнемиасской свиты; 4-контуры перспективного участка.

Основная идея безопасного захоронения жидких промышленных отходов в Теча-Бродской структуре основывается на обеспечении гравитационного эффекта: сформировавшаяся линза из промышленных отходов с плотностью большей плотности пластовых вод опускается в наиболее погруженную часть. Явление плотностного эффекта тем заметнее, чем больше разница в плотностях (минерализациях) закачанных жидких отходов и пластовых вод. Для локализации «залежи» отходов и предотвращение её вовлечения в региональный поток подземных вод, требуется обеспечение определённой степени превышения плотности отходов относительно плотности подземных вод. При этом стоит отметить, что экономически целесообразно как можно меньшее увеличение плотности.

Для безопасной эксплуатации зданий и сооружений ФГУП «ПО «Маяк» применяются различные дренажные системы, в результате которых происходит извлечение на поверхность химически и радиоактивно загрязнённых подземных вод.

В настоящее время эти воды сбрасываются в промышленные водоёмы предприятия (В-9, В-17, В-10, В-11). Минерализация дренажных вод, сбрасываемых в ТКВ, составляет около 4 г/л).

Для выяснения гидрогеохимических условий подземных вод Теча-Бродской структуры в период 2008-2010 годов было *проведено гидрогеохимическое опробование*.

При гидрохимическом опробовании, помимо определения минерализации подземных вод, определялся микрокомпонентный состав подземных вод и проводились исследования подземной гидросферы для определения «возраста» по изотопному составу воды и индикаторам взаимодействия вода-порода.

Анализируя полученные данные, можно сделать следующие выводы. Для Теча-Бродской структуры характерна слабо выраженная прямая гидрохимическая зональность. Также характерно слабовыраженное изменение химического состава с гидрокарбонатно-хлоридного кальциево-магниевый на хлоридно-гидрокарбонатный натриевый, магниевый.

В скважинах С-17 и С-14 (глубины 163 и 27 метров соответственно) получен наиболее типичный состав для верхней части разреза. Вода характеризуется гидрокарбонатно-хлоридным кальциево-магниевым составом с слабощелочной реакцией с минерализацией до 1,2 г/л (С-14).

В скважине С-27 при поинтервальном опробовании (глубины отбора проб - 203, 250, 500 и 770 метров) зафиксирован рост минерализации от 0,3 до 1,6 г/л. Тип воды сменяется от гидрокарбонатно-хлоридного натриево-магниевый-кальциево-магниевого до хлоридно-гидрокарбонатного кальциево-магниевый-натриевого.

Наибольшая минерализация зафиксирована в процессе откачки из скважины С-4 (3,2 г/л) с глубины 1100 метров. Постепенное увеличение минерализации с глубиной является характерным свидетельством замедления водообмена с увеличением глубины.

Из анализа результатов гидрохимического опробования следует, что зона активного водообмена приурочена к верхней части разреза до глубин 400 метров. Ниже по разрезу происходит увеличение минерализации и изменение химического типа воды, характерного для зоны замедленного водообмена.

Согласно полученным данным, минерализация (плотность) пластовых вод близка к минерализации промышленных отходов. В этой связи, необходимо проведение дополнительных мероприятий по увеличению плотности отходов.

Для оценки возраста воды при прогнозе безопасности захоронения жидких радиоактивных отходов (теплов природного водообмена) использовалось изотопное датирование возраста подземных вод.

По результатам *уран/гелиевого датирования* расчетный возраст подземных вод в региональном потоке Тече-Бродской структуры составит от 12 до 52 тыс. лет в зависимости от пористости пород (максимальный возраст был получен при $n=0.2$, минимальный для $n=0.1$).

Результаты *измерений изотопного состава углерода карбонатов, активности радиоуглерода, а также расчета радиоуглеродного возраста* подземных вод Тече-Бродской структуры представлены в Таблице 1. В полученных оценках наблюдается увеличение возрастов с глубиной.

Следует отметить заметное отличие радиоуглеродных датировок от результатов уран/гелиевого датирования в меньшую сторону. Оценки возраста, полученные для древних вод Тече-Бродской структуры радиоуглеродным методом, следует признать оценкой нижнего предела возрастов.

Таблица 1. Результаты определения радиоуглеродного возраста подземных вод Тече-Бродской структуры в 2010 гг.

Скважина	Глубина, м	Коэффициент разбавления образца	Скорость счета образца, имп/мин	Скорость счета современного стандарта, имп/мин	A, % от современного стандарта	Абсолютный возраст, лет ВР*
С-4	1125	0,589	0,400±0,049	31,39±0,09	2,163±0,265	27000±990
С-12	910-1074	0,343	0,939±0,037	31,39±0,09	8,721±0,345	15000±320
С-27	250	0,339	1,757±0,034	34,14±0,095	15,18±0,297	10800±180
С-27	500	0,352	1,765±0,034	34,14±0,095	14,69±0,286	11000±180
С-27	770	0,802	3,255±0,040	31,39±0,09	12,93±0,163	11800±130

* – до современности (before present), за начало отсчета берется 1950 г.

Гелиевая, радоновая и тороновая съёмки основаны на изучении распределения концентраций одноимённых газов в подземных водах и подпочвенном воздухе и проводились для выявления и оконтуривания проницаемых разломных зон, по которым может происходить подток глубинных жидкостей и газов, продуцирующихся породами фундамента. В случае проницаемости разрывных нарушений Аргаяшского надвига, последние будут являться гидравлическими окнами, по которым осуществляется связь зон активного и замедленного водообмена и на поверхности земли будут прослежены глубинные газы, эманлирующиеся породами фундамента.

При водном опробовании были отобраны пробы из 120 скважин. Привязка скважин производилась с использованием GPS-приёмника, геологическая привязка опробованных интервалов велась согласно паспортов и кадастров скважин. Большинство скважин (112) характеризуют гелиеносность верхней зоны активного водообмена (глубина скважин от 14 до 131 метра). Восемь скважин на изучаемом участке пробурены на глубины от 994 до 1941 метра и характеризуют зону затруднённого водообмена.

Для съёмки подпочвенных газов (гелия, радона и торона) была проведена разбивка территории на профили с их координатной привязкой. На площади развития карбонатного комплекса пробы отбирались с шагом 500 метров, на территории развития пластин Аргаяшского надвига сеть отбора проб была сгущена до 250 метров.

Отбор проб почвенного воздуха в точках наблюдения проводился из шпуров глубиной 50 см. В отдельных точках, где не было возможности делать прямые измерения объёмного содержания (заболоченные и сильно залеснённые участки), были проведены оценки этой величины методом линейной экстраполяции от ближайших точек измерения. Количество таких расчётов не превышает 5-7% от количества точек измеренных значений.

Количество измерений осуществлялось с учётом выявленных аномалий, позволяющих снизить влияние на объёмную активность радона таких

метеофакторов, как атмосферное давление, температура и влажность воздуха за счёт выбора оптимального режима наблюдений и глубины пробоотбра. Определение концентраций радона и торона в пробах применялись полевые радиометры серии РРА. Всего было отобрано и проанализировано 2108 проб.

По результатам съёмок практически на всей площади исследований концентрации газов соответствуют фоновым значениям. Исключение составляют два участка на западной границе изучаемой территории (западнее Аргаяшского надвига) где отмечены повышенные концентрации гелия, которые, вероятно, связаны с разгрузкой гелиеносных вод фундамента в зону активного водообмена по разломам или узлам их сочленения. Эти участки расположены западнее зоны Аргаяшского надвига и взаимосвязи с водами нижней толщи верхнемиасского карстового водоносного блока скорее всего не имеют.

Таким образом, результаты гелиевой и радон-тороновой съёмок свидетельствуют о наличии гидродинамической зоны с затруднённым водообменном, нисходящего потока подземных вод и о закрытости (залеченности) тектонических контактов между пластинами Аргаяшского надвига.

Для определения оптимального соотношения плотностей пластовых вод и закачиваемых отходов, при которой не будет происходить миграция последних с региональным потоком подземных вод, было *проведено профильное численное моделирование* в трёх вариантах задания плотности захораниваемых отходов.

Сетка движения геофильтрационного потока в указанной зоне имеет сложную пространственную структуру, обусловленную резкой фильтрационной неоднородностью, неоднородностью условий питания и разгрузки подземных вод, а также фильтрационной анизотропией водовмещающих пород, представленных сильно дислоцированными терригенно-вулканогенными и карбонатными отложениями.

В то же самое время, как свидетельствуют существующие на сегодняшний день гидродинамические схемы территории Теча-Бродской структуры, латеральная составляющая геофильтрационного потока на участке исследований является весьма существенной. Данное обстоятельство является важным с позиции оценки возможности захоронения жидких отходов, поскольку именно латеральный региональный геофильтрационный поток, имеющий В-ЮВ, направление является основным фактором, обуславливающим вынос захороненных отходов за пределы Теча-Бродской структуры.

В соответствии с приведенными выше соображениями была создана профильная геофильтрационная и геомиграционная модель Теча-Бродской структуры для наиболее «жестких» гидрогеологических условий (с позиции оценки возможности захоронения промышленных стоков).

В процессе моделирования решались следующие задачи:

- предварительная оценка роли «плотностного эффекта» в формировании залежи из жидких промышленных отходов. Выбор оптимальной плотности жидких отходов, при которой не происходит размывания залежи под действием латерального потока подземных вод;
- предварительный прогноз распространения захороненных отходов в геофильтрационном потоке.

При моделировании учитывалась зависимость гидрогеодинамического поля от распределения плотности флюида в объеме геофильтрационного потока.

Геофильтрационный поток рассматривался при моделировании как квазистационарный (нестационарное гидрогеодинамическое поле без учета влияния гравитационной и упругой емкости водовмещающих отложений).

Фильтрационные свойства водовмещающих отложений были приняты в соответствии с данными опробования режимных и разведочных скважин.

При моделировании принималось допущение, что карбонатная толща Теча-Бродской структуры однородна по фильтрационным свойствам и изотропна. Коэффициенты фильтрации водовмещающих отложений, распространенных в пределах рассматриваемого профиля, представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Коэффициенты фильтрации водовмещающих отложений, принятые при моделировании

Водоносный горизонт (комплекс)	Коэффициент фильтрации (м/сут)	Источник информации
Карбонатный комплекс Теча-Бродской структуры	0.6	Данные опытных откачек
Слабопроницаемый пласт нижнемиасской свиты нижнего карбона, локально водоносная толща отложений силура-девона в пределах зоны экзогенной трещиноватости	0.5	Данные опытных откачек
Слабопроницаемый пласт нижнемиасской свиты нижнего карбона, локально водоносная толща отложений силура-девона за пределами зоны экзогенной трещиноватости	0.01	Литературные данные

Шаги модельной сетки по горизонтали и вертикали были приняты 100 м и 50 м, соответственно.

В ходе закачки на локальном участке водоносной системы создается значительное гидродинамическое возмущение, которое достаточно быстро релаксирует после прекращения инъекции флюида.

При моделировании выполнена оценка характера распространения промышленных отходов в потоке подземных вод после их закачки в наиболее глубокую часть разреза карбонатного комплекса Теча-Бродской структуры.

Объемы и пространственная конфигурация зоны захоронения промышленных отходов определялись в соответствии со следующими соображениями:

- продолжительность закачки – 25 лет;
- суммарный дебит закачки – 300 тыс. м³/год;
- площадь перспективного участка для захоронения отходов, определенная по результатам геолого-геофизических исследований, составляет около 7 км²;
- активная пористость водовмещающих отложений составляет 3%.

При указанных параметрах суммарный объем захороненного флюида за расчетный срок составит 0.0075 км³. Объем области распространения отходов на момент прекращения их закачки составит 0.25 км³. Ориентировочная мощность залежи жидких промышленных отходов в пределах перспективного участка составит около 36 м. При активной пористости 0.01 ориентировочная мощность слоя проток в пределах перспективного участка составит около 94 м (Таблица 3).

Таблица 3. Предварительная оценка объема зоны захоронения жидких отходов.

Дебит закачки м ³ /год	Продолжительность закачки в годах	Ориентировочный объем закаченных отходов		Расчетная активная пористость пласта-коллектора (-)	Ориентировочный объем распространения отходов после прекращения закачки, км ³	Площадь перспективного участка захоронения РАО, км ²	Ориентировочная мощность загрязненной зоны (м)
		м ³	км ³				
300000	25	7500000	0.0075	3%	0.25	7.0	35.8
				1%	0.75	8.0	94.0

Активная пористость водовмещающих отложений принималась одинаковой для всех водоносных подразделений, равной 3%.

Плотность стоков (ρ_s) задавалась в 3 вариантах:

- вариант 1: $\rho_s = 1300 \text{ кг/м}^3$ ($M > 300 \text{ г/л}$) (максимально возможная плотность при использовании технологии, рекомендованной в;
- вариант 2: $\rho_s = 1040 \text{ кг/м}^3$ ($M \approx 50 \text{ г/л}$) (оптимальная плотность после прохождения отходов через мембранные фильтры);
- вариант 3: $\rho_s = 1000 \text{ кг/м}^3$ ($M \approx 1 \text{ г/л}$) (пресная вода).

Фоновая плотность геофильтрационного потока принималась (ρ_f) равной 1000 кг/м^3 .

Изменение коэффициента фильтрации водовмещающих отложений в зависимости от плотности флюида при расчетах не учитывалось, что повышает «жесткость» модельных условий.

Расчеты выполнялись для времени прогноза 200, 400, 600, 800 и 1000 лет с момента прекращения закачки.

Гидродинамическая схема геофильтрационного потока, полученная по результатам моделирования, показана на Рис. 6.

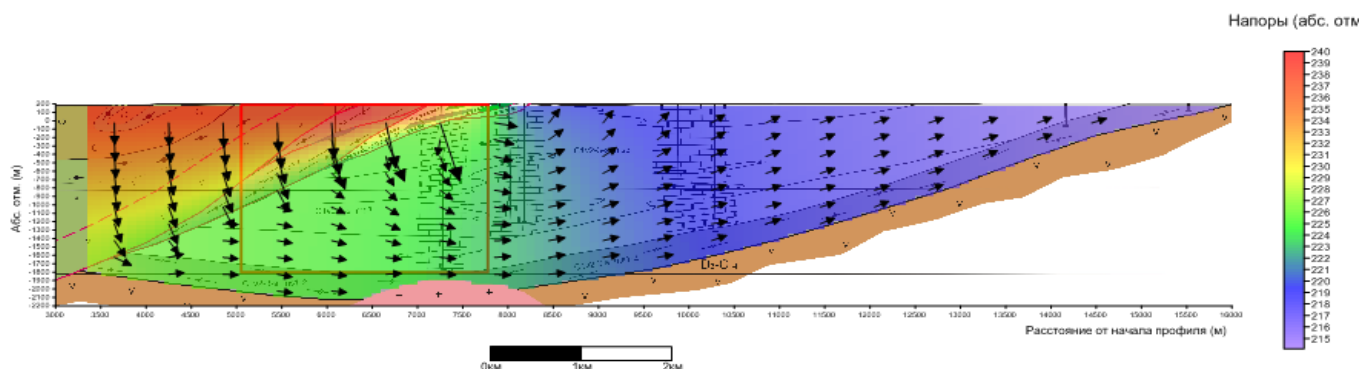


Рис. 6 - Гидродинамическая схема геофильтрационного потока (по результатам моделирования)

Результаты моделирования миграции представлены в виде расчетных профилей относительных приращений значений плотности флюида по отношению к плотности пресной воды: $\Delta\rho_s^* = (\rho_s - \rho_f) / \rho_f$. В рассматриваемом случае величина $\Delta\rho_s^*$ изменяется

от 0 (для пресной воды) до 1 (для воды с расчетной плотностью флюида, различающейся для каждого варианта).

Распределение $\Delta\rho_s^*$ по профилю модели, наложенное на модельный геологический разрез, для рассмотренных вариантов модели и расчетных моментов времени представлено на Рис. 8, Рис. 7 и Рис. 9.

При максимальной плотности флюида (вариант 1, Рис. 8) жидкие отходы не мигрируют в латеральном направлении. Под действием плотностной конвекции они мигрируют из карбонатного комплекса в подстилающие отложения нижнемиасской свиты нижнего карбона и растекаются по кровле водоупора. Зеркало поверхности линзы из отходов заметно наклонено в сторону, противоположную латеральному потоку.

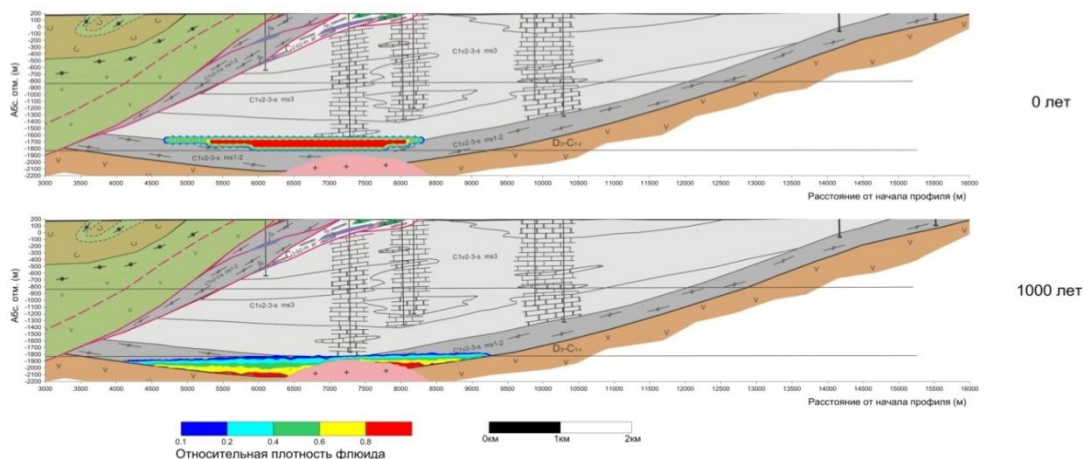


Рис. 7 - Результаты прогнозных расчётов миграции жидких отходов в геофильтрационном потоке Теча-Бродской структуры. Вариант 1. Плотность захороненного флюида 1300 кг/м^3 (250 г/л).

При оптимальной плотности флюида (вариант 2, Рис. 7) жидкие отходы практически также как в варианте 1 перетекают в подстилающие отложения нижнемиасской свиты нижнего карбона и локализуются в наиболее погруженной части подошвы геофильтрационного потока. Различие вариантов 1 и 2 проявляется лишь в том, что наклон поверхности линзы из отходов, отмеченный в варианте 1,

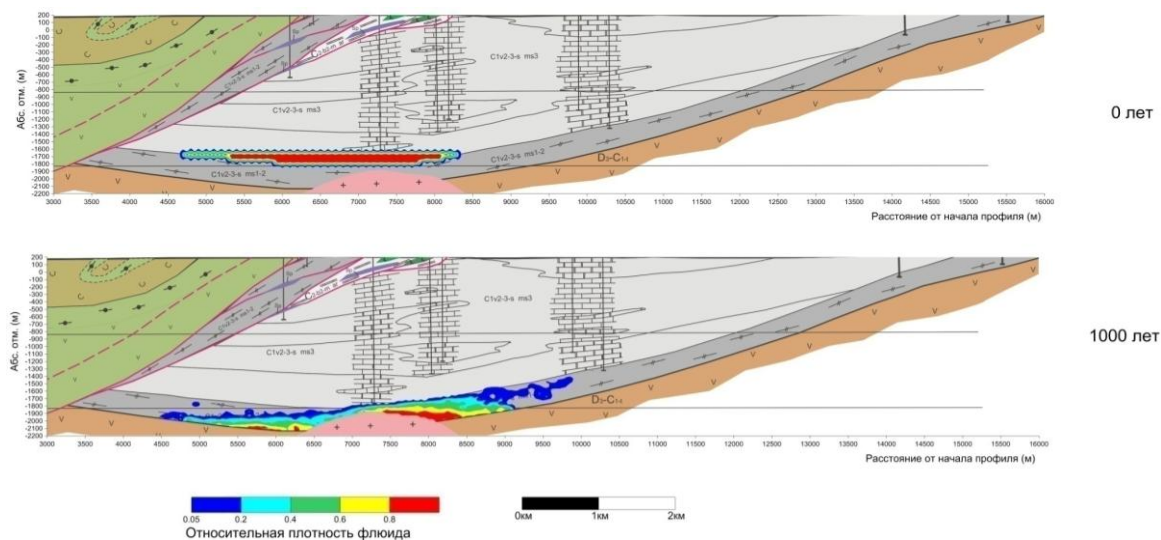


Рис. 8 - Результаты прогнозных расчётов миграции жидких отходов в геофильтрационном потоке Теча-Бродской структуры. Вариант 2. Плотность захороненного флюида 1040 кг/м^3 (50 г/л).

появляется более существенно.

При плотности флюида, соответствующей фоновой (вариант 3, Рис. 9) отходы беспрепятственно мигрируют в латеральном направлении по кровле отложений нижнемиассской свиты нижнего карбона. По истечении приблизительно 800 лет фронт из промышленных отходов достигают области разгрузки подземных вод на восточном борту Теча-Бродской структуры (разгрузка в соответствии с данными региональной модели происходит в поверхностные водотоки и водоемы, а также эвапотранспирацией).

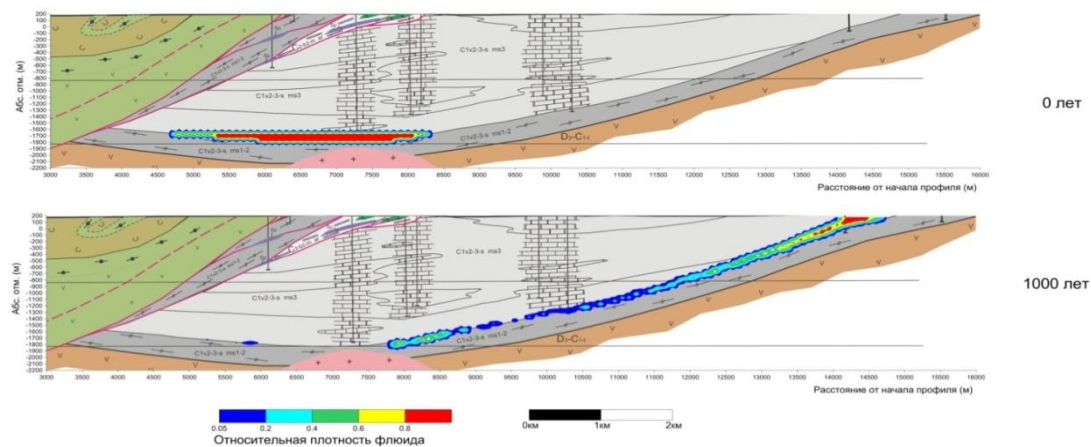


Рис. 9 - Результаты прогнозных расчётов миграции жидких отходов в геофильтрационном потоке Теча-Бродской структуры. Вариант 3. Плотность захороненного флюида 1000 кг/м^3 (1 г/л).

Выполненное тестовое моделирование подтверждает принципиальную возможность захоронения промышленных отходов при искусственном увеличении их плотности. Стоит отметить, что по данным расчёта, минимальная величина минерализации стоков должна составлять около 40 г/л. При этой и большей минерализации промышленных отходов не происходит их выноса вместе с латеральным потоком подземных вод. Такая величина минерализации вполне достижима с технической точки зрения.

В результате анализа данных по геологическому строению и гидрогеологическим условиям выделенной территории могут быть сформулированы следующие основные факторы, которые обуславливают безопасность захоронения промстоков на этой площадке:

- значительная мощность комплекса осадочных пород, в составе которого выделяются хорошо проницаемые толщи до глубин 1000-1500 м и ниже залегающие низкопроницаемые слои;
- поднадвиговое положение перспективного разуплотнённого блока, выполняющего роль «покрышки». Согласно Рис. 2 протяжённость надвига вкрест простирания по горизонтали составляет от 4 до 5 км;
- наличие слабосолёных вод в нижней части проницаемой зоны карбонатных пород, что свидетельствует о затруднённом режиме водообмена;
- гравитационная дифференциация разноплотностных жидкостей, приводящая к опусканию залежи из жидких промышленных отходов в менее плотных пластовых водах в наиболее погружённую часть Соболевской синклинали.

В связи с этим, участок опытного полигона захоронения жидких промышленных отходов рекомендуется располагать в 2-2,5 км к западу от границы

Аргаяшского надвига в основании толщи карбонатных пород (Рис. 3, Рис. 4, Рис. 5), расположенной на кровле практически непроницаемых пород.

В четвёртой главе анализируются гидрогеологические условия эталонного объекта-аналога озера Карачай, использующегося с 1951 года в качестве хранилища жидких радиоактивных отходов повышенной плотности. В результате фильтрационных утечек при многолетней эксплуатации хранилища вокруг него сформировался ореол из загрязнённых вод. Главным действующим фактором при формировании ореола послужил эффект «гравитационной» дифференциации. При фильтрационных утечках через ложе водоёма наиболее плотные отходы опускались до глубины затухания зоны экзогенной трещиноватости (140 м), а затем медленно мигрировали под действием латерального потока подземных вод к участкам разгрузки. Длина пути фильтрации для несорбируемых компонентов составила первые километры с момента начала эксплуатации до начала разгрузки в открытую гидрографическую сеть (1995 г).

Сравнивая гидрогеологические условия Теча-Бродской структуры и озера Карачай, а также данные многолетнего мониторинга территории примыкающей к озеру возможно сделать вывод о благоприятных условиях для захоронения отходов в Теча-Бродской структуре по следующим причинам:

1) Высокие защитные свойства геологической среды, проявляющиеся в физико-химическом взаимодействии мигрирующего вещества с твердой фазой геологического массива. Физико-химическое взаимодействие в системе вода-порода переводит загрязнение в немигрирующее состояние. Ореолы распространения загрязнения по не сорбируемым компонентам не превышают первых километров, по сорбируемым компонентам площадь загрязнения значительно меньше.

2) Предлагаемая схема захоронения (за счёт увеличения плотности) приведёт к опусканию залежи на поверхность водоупора. Предполагаемая граница водоупора залегает на глубине более 2000 метров. В результате сформированная «залежь» будет иметь мощность всего около 36 метров.

3) Миграция высокоплотных отходов из В-9 затруднена даже при действии высоких скоростей фильтрации (на участке между водоёмом В-9 и р. Мишельяк действительная скорость потока составляет 0,4-0,6 м/сут). Замедленные скорости фильтрации на глубинах закачки около 2000 метров свидетельствуют о том, что выход закаченных стоков в зону активного водообмена произойдёт через период времени, достаточный для полного обеззараживания стоков.

4) В результате сравнения данных мониторинга водоёма В-9 подтверждается правильность предлагаемой схемы захоронения и безопасность создания полигона на её основе.

В пятой главе приводятся анализ геологического строения с точки зрения выбора наиболее оптимальной конструкции скважин для обеспечения качественной изоляции затрубного пространства, так как непреодолимые трудности с обеспечением надежной цементации обсадных колонн в условиях интенсивной закарстованности пород, послужили одной из причин отрицательного заключения о пригодности Теча-Бродской структуры для целей подземного захоронения жидких промстоков.

Полученные в результате выполненных работ новые данные о геолого-структурных особенностях участка позволяют исключить этот фактор путем применения технологии сооружения наклонно-направленных скважин, в которых

верхняя вертикальная часть ствола скважин до глубин 1600 ÷ 1700 м будет пройдена в устойчивых вулканогенно-осадочных породах сергайдинской (S_2-D_{1sr}) и назировской ($S_{1v}-S_{2nz}$) свит, что обеспечит проведение надёжной цементации затрубного пространства. Дальнейшая проходка скважины в «продуктивную» зону обеспечивается направленным искривлением ее ствола (Рис. 10).

Дополнительным преимуществом таких скважин является и то, что оптимальные параметры приемистости (производительности) скважины достигаются изменением протяженности горизонтального (субгоризонтального) участка ствола скважины в рабочем пласте.

Для проработки вопросов принципиальной возможности сооружения скважин, обеспечивающих надежные и безопасные условия захоронения жидких промышленных отходов на выбранном участке, разработан технологический проект на проводку скважин с прогнозными расчетами затрат на их сооружение.

В пределах выбранной перспективной площадки проведения опытно-промышленной закачки жидких отходов намечено бурение двух разведочных скважин.

Целью сооружения этих скважин является:

- уточнение геологического разреза перспективной площадки и её гидрогеологических условий;
- обоснование интервалов глубин закачки отходов;
- оптимизация технологии проходки скважин в аналогичных условиях.

Благоприятной особенностью представленного геологического разреза является наличие до глубины 1500 м монолитных скальных пород силурийского возраста. Это создаёт условия для проведения качественного тампонажа затрубного пространства.

В процессе проводки скважин предусматривается проведение стандартного комплекса гидрогеологических и геофизических исследований в процессе бурения скважин, отбора образцов керна, шлама и бурового раствора, а также получения другой необходимой информации. Усреднённые затраты на строительство одной скважины около 127 млн. рублей при продолжительности строительства одной скважины около 5 месяцев.

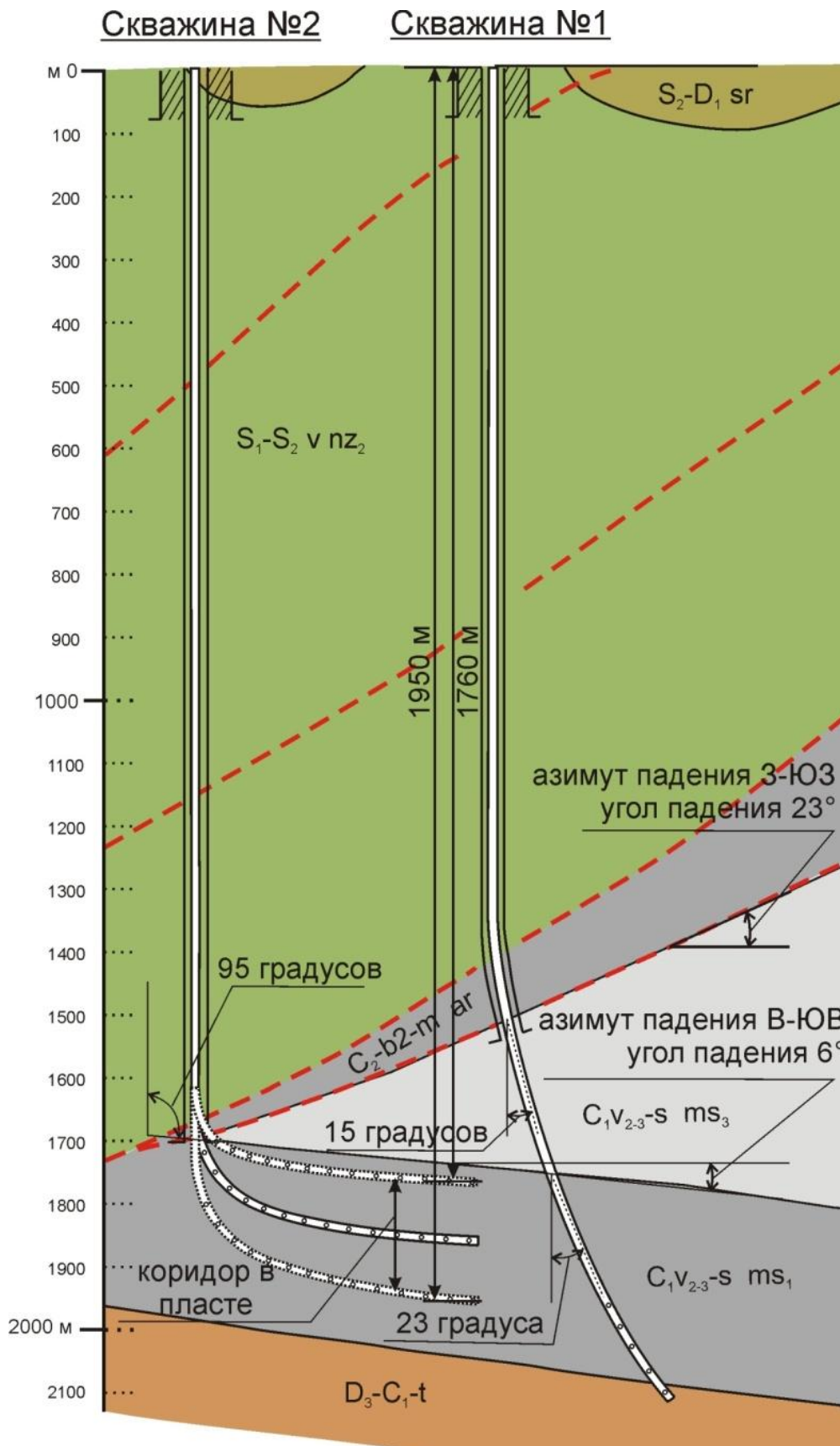


Рис. 10 - Схематические профили скважин №1 и №2.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. На основе анализа геологического строения и гидрогеологических условий Теча-Бродской структуры было сделано заключение *о перспективности и безопасности использования западной части структуры* в качестве участка для создания подземного полигона захоронения жидких промышленных отходов.

2. Установлено, что в плане Аргаяшский надвиг, слагающий западное крыло Теча-Бродской структуры, имеет протяжённость около 9 км, максимальную глубину – до 4,5, что соответствует 30° падению плоскости надвига. Толща надвига нарушена разломами, простирание которых совпадает с простиранием надвига. Плоскости разломов залечены.

3. В месте расположения перспективной площадки для размещения опытно-промышленного участка полигона захоронения жидких промышленных отходов в качестве пласта-коллектора рекомендована карбонатно-терригенная толща пород, общей мощностью до 500 метров. Пласт-коллектор перекрыт толщей практически водонепроницаемых отложений мощностью около 1300 метров, представленных вулканогенными и эффузивными породами.

4. Применительно к условиям перспективного участка захоронения жидких промышленных отходов выполнен прогнозный расчёт миграции отходов в пласте-коллекторе на основе профильной математической модели.

Расчётами установлено, что при максимальной плотности залежи из отходов миграция в латеральном направлении не происходит: под действием плотностной конвекции они мигрируют из карбонатного комплекса в подстилающие отложения нижнемиасской свиты нижнего карбона и растекаются по кровле водоупора.

При оптимальной плотности отходов, практически также как в первом варианте, отходы перетекают в подстилающие отложения нижнемиасской свиты нижнего карбона и локализуются в наиболее погруженной части подошвы геофильтрационного потока.

При плотности флюида, соответствующей фоновой отходы беспрепятственно мигрируют в латеральном направлении по кровле отложений нижнемиасской свиты нижнего карбона.

Таким образом, проведённые прогнозныe расчёты свидетельствуют о безопасности закачки промышленных стоков в глубокие водоносные пласты карбонатно-терригенной толщи Теча-Бродской структуры при плотности большей, чем плотность пластовых вод. Оптимальная плотность жидких отходов, достигается при минерализации не менее 40 г/л.

5. Применительно к условиям места заложения выполнены предпроектные проработки проводки двух разведочных скважин. Глубина скважин №1 по стволу 2135 м, скважины №2 – 2110 м. В скважинах устанавливаются фильтры протяжённостью около 600 м (скважина №1) и около 300 м (скважина №2). На скважинах проводится комплекс геологических, гидрогеологических и геофизических исследований. Общая продолжительность строительства одной скважины около 5 месяцев, стоимость 126,22 млн. руб.

6. По результатам проведённых комплексных исследований Теча-Бродской структуры её западное крыло, расположенное под плоскостью Аргаяшского надвига, можно рекомендовать в качестве перспективного участка для постановки заверочных буровых работ с целью обоснования возможности строительства полигона

подземного захоронения жидких отходов предприятия ФГУП «ПО «Маяк».

Основные публикации по теме диссертации

1. Гидрогеологическая интерпретация геотермических аномалий в районе бурения уральской сверхглубокой скважины СГ-4. Лисёнков А.Б., Лиманцева О.А., **Белов К.В.** // Разведка и охрана недр. – 2012 - №4.

2. Оценка возможности захоронения жидких промышленных отходов в глубоких водоносных горизонтах Теча-Бродской структуры. М.Л. Глинский, Б.М. Зильберштейн, А.А. Куваев, С.А. Тер-Саакян, Л.Б. Прозоров, **К.В. Белов.** // Безопасность окружающей среды. – 2012- №1.

3. Историко-научные аспекты проблемы утилизации промышленных сточных вод. **Белов К.В.** // Сборник докладов Годичной конференции ИИЕТ РАН-2010.

4. Подземное захоронение промышленных сточных вод: эволюция представлений отечественного и зарубежного опыта. **Белов К.В.** //Сборник докладов Годичной конференции ИИЕТ РАН-2011.

5. Гидрогеологические условия и тепловое поле земли в районе бурения Уральской сверхглубокой скважины СГ-4. **Белов К.В.** // Материалы конференции «Молодые - наукам о Земле», 2010.