

На правах рукописи



Мещерякова Ольга Юрьевна

**ЗАЩИТА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГИПСА ОТ НЕФТЯНОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ В КАРСТОВЫХ РАЙОНАХ ПЕРМСКОГО
КРАЯ**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология
(в горно-перерабатывающей промышленности)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тула – 2014

Работа выполнена в лаборатории геологии техногенных процессов Естественного института ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Научный руководитель:

МАКСИМОВИЧ Николай Георгиевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заместитель директора по научным вопросам Естественного института ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет».

Официальные оппоненты:

ЛЕВКИН Николай Дмитриевич, доктор технических наук, доцент, ГОУ «Учебно-методический центр по гражданской обороне и чрезвычайным ситуациям Тульской области» / кафедра гражданской защиты, заведующий;

СТАСЬ Галина Викторовна, кандидат технических наук, ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет» / кафедра геотехнологий и строительства подземных сооружений, доцент.

Ведущая организация: ОАО «Тульское научно-исследовательское геологическое предприятие», г. Тула.

Защита состоится « 30 » июня 2014 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.271.09 при ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет» по адресу: 300012, г. Тула, пр. Ленина, д. 90, 6-й корпус, ауд. 220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет».

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, подписанные и заверенные печатью организации, просим высылать по адресу: 300012, г. Тула, пр. Ленина, 92, Ученый совет ТулГУ, факс: (4872) 35-81-81.

Автореферат разослан « 15 » мая 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Леонид Элярдович Шейнкман

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Пермский край является регионом, где ведется активная разработка сульфатных месторождений. Известно 269 объектов гипса и ангидрита (в т.ч. 80 месторождений), которые приурочены к отложениям кунгурского яруса нижней перми. Государственным балансом учтены восемь месторождений. Общие балансовые запасы промышленных категорий гипса и ангидрита составляют 56,5 млн т со средневзвешенным содержанием гипса в залежах месторождений 82-93 %.

К районам месторождений гипса в Пермском крае и перспективных площадей приурочены 75 % месторождений нефти, из которых треть расположена в районах развития карста. Добыча, транспортировка и переработка нефти ведет к загрязнению окружающей среды, затрудняет разработку гипсовых месторождений, усложняет технологический процесс, негативно влияет на качество сырья. Высокая закарстованность сульфатных массивов способствует проникновению загрязнителя как по площади, так и вглубь. Загрязнению подвержены горные породы, поверхностные и подземные воды.

Подобная ситуация сложилась в Ординском, Добрянском и других районах Пермского края. Примером является загрязнение сульфатного массива в районе Полазненского месторождения нефти, расположенного в районе развития сульфатного карста на берегу Камского водохранилища в Добрянском районе Пермского края, где с начала 1970-х годов XX в. отмечаются интенсивные нефтегазопроявления. Разработка массива затруднена, поскольку, вследствие разливов и утечек нефти, на поверхности трещинно-грунтовых вод сформировалась линза нефтепродуктов, которая является источником загрязнения массива, представляющего собой территорию, перспективную на обнаружение и разработку гипса.

Ранее проведенные исследования не дали однозначного ответа на вопрос о причинах длительного стойкого нефтяного загрязнения в сформировавшейся сложной гидравлической системе. Таким образом, актуальность данной работы заключается в изучении механизма загрязнения массива, что позволит разработать эффективные методы борьбы с ним.

Целью работы являлось установление закономерностей нефтяного загрязнения закарстованных территорий Пермского края, перспективных для добычи гипса, и разработка инновационной технологии очистки пород и подземных вод.

Идея работы заключается в том, что инновационная технология защиты от нефтяного загрязнения месторождений гипса путем откачки нефти и очистки горных пород и подземных вод основывается на закономерностях биогеохимических процессов, которые усиливают специальной культурой микроорганизмов и осуществляют ликвидацию нефтяной линзы с учетом структуры гидродинамического барьера на пути фильтрационно-диффузионного движения загрязнителей.

Основные научные положения, сформулированные в работе, состоят в следующем:

- зависимость мощности нефтяной линзы в нижней части закарстованного гипсового пласта от уровня воды в водохранилище при его залегании в береговых частях водоемов и зависимость содержания макрокомпонентов от величины минерализации подземных вод при высокой тесноте связи ионов железа двухвалентного с ионами нитритов, свидетельствующей об активной микробиологической деятельности аборигенных микроорганизмов, имеют линейный характер;

- формирование нефтяного загрязнения сульфатного массива в условиях высокой закарстованности обусловлено скоплениями нефти в гидродинамических ловушках, диффузионной миграцией углеводородов в горный массив и фильтрационным выносом подземными водами растворимых нефтепродуктов с дальнейшей субаквальной разгрузкой;

- очистка закарстованного сульфатного массива от нефтяного загрязнения основывается на совместном использовании метода откачки нефти без забора воды и метода деструкции нефтяных углеводородов аборигенными микроорганизмами.

Новизна основных научных и практических результатов:

- на основании гидродинамических и гидрохимических исследований оценены масштабы локального загрязнения нефтепродуктами района, перспективного на разработку гипса;

- выявлен механизм нефтяного загрязнения в закарстованном сульфатном массиве в условиях влияния крупного водохранилища, главной особенностью которого является скопление нефти в гидродинамической ловушке, что легло в основу разработки экоэффективной технологии его очистки;

- разработан комплекс методов очистки горных пород и подземных вод закарстованного сульфатного массива, включающий откачку нефтепродуктов по специальной технологии без откачки воды и биохимическую деструкцию нефти аборигенными микроорганизмами, что позволяет ввести массив в промышленную эксплуатацию.

Достоверность научных положений и выводов подтверждается корректной постановкой задач, использованием комплекса методов исследований, включающего теоретическое обобщение, полевые работы (с 2002 по 2011 г.), в которые входили наблюдения за уровнем воды и нефти в скважинах, отбор проб подземных (188 проб) и поверхностных (150 проб) вод, терморезистивометрические исследования (3 серии наблюдений по 15 профилям), лабораторные работы по изучению химического состава подземных и поверхностных вод, изучение состава нефти и оценка масштабов загрязнения, выполнение опытно-промышленных испытаний методов борьбы с нефтяным загрязнением и оценка их эффективности.

Практическая значимость работы. Разработанные методы очистки позволяют решать экологические проблемы, связанные с загрязнением пород,

подземных и поверхностных вод на перспективных для разработки гипса площадях. Их применение позволит повысить качество сырья, ввести объект в промышленную эксплуатацию и снять экологические ограничения на разработку. В ходе опытно-промышленных работ была отработана технология откачки нефти из линзы без забора воды. Откачанная нефть может использоваться для дальнейшей переработки.

Предложенный комплекс методов может быть применен для очистки не только подземных, но также поверхностных и сточных вод. Разработанная технология может быть использована как самостоятельно, так и дополнительно к традиционным, повышая тем самым эффективность очистки. Особый эффект от использования данной технологии можно ожидать при решении наиболее трудной задачи – очистки пород от сорбированных на них нефтепродуктов в зоне сезонного колебания уровня подземных вод.

Использование предложенных методов позволит на этой площади вести разработку гипса. В настоящее время предприятием, по вине которого произошло загрязнение массива, реализуются предложения по откачке нефти.

Апробация работы и публикации. Основные теоретические и практические результаты диссертационной работы докладывались на конференциях различного уровня: Международном симпозиуме МАИГ «Geological Engineering Problems in Major Construction Projects» (Китай, 2009); II Международной научно-практической конференции «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов» (Пермь, 2009); XIV Международном научном симпозиуме «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2010); Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы инженерной геологии карста урбанизированных территорий и водохранилищ» (Пермь, 2008); Всероссийской научно-практической конференции «Геология в развивающемся мире» (Пермь, 2010, 2011); итало-русской школе (Палермо, Италия, 2006; Пермь, 2009).

По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ, в том числе 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК. Автор участвовала в написании 17 научно-производственных отчетов, а также являлась исполнителем в 2 грантах РФФИ.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю, к.г.-м.н., доценту, Н. Г. Максимовичу, а также сотрудникам лаборатории геологии техногенных процессов Естественного института ПГНИУ за постоянную помощь и поддержку в процессе работы над диссертацией. Автор признателен своей семье и близким за искреннюю поддержку при работе над диссертацией.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Материал изложен на 168 страницах, содержит 62 рисунка, 17 таблиц, 2 приложения, список литературы из 134 наименований, из которых 16 – зарубежные.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Фундаментальные и прикладные аспекты проблемы нефтяного загрязнения перспективных территорий на обнаружение гипса в закарстованных районах сформулированы в работах Б. А. Бачурина, С. А. Бузмакова, В. Н. Быкова, К. А. Горбуновой, В. М. Гольдберга, О. Н. Грязнова, С. Л. Давыдовой, В. Н. Дублянского, Н. Н. Егорова, Е. С. Капустиной, В. П. Костарева, С. М. Костарева, Н. Г. Максимовича, А. А. Оборина, И. А. Печеркина, Н. П. Солнцевой, Д. С. Соколова и др. Но, несмотря на многочисленные исследования, единого подхода к изучению нефтяного загрязнения перспективных для разработки гипса карстовых районов нет.

Цель и идея работы, а также современное состояние знаний по рассматриваемой проблеме обусловили необходимость постановки и решения следующих задач:

- 1) изучение геологических и гидрогеологических особенностей перспективных для разработки гипса карстовых районов, влияющих на распространение загрязнения;
- 2) разработка комплекса методов для изучения нефтяного загрязнения в закарстованном сульфатном массиве и проведение лабораторных и натуральных экспериментов;
- 3) выявление причин и механизма загрязнения сульфатного массива в районе Полазенского месторождения нефти;
- 4) разработка инновационной технологии защиты месторождений гипса от нефтяного загрязнения и оценка ее эффективности.

В качестве объекта исследований выбран закарстованный гипсовый массив, находящийся на территории нефтяного месторождения, приуроченный к водохранилищу. В связи с этим изучены особенности процесса нефтяного загрязнения подобных площадей, обусловленные их геологическими и гидрогеологическими характеристиками, особенностями развития карста, а также свойствами самого загрязнителя. Дана общая характеристика района исследования, в геологическом разрезе которого можно выделить отложения девонской, каменноугольной, пермской и четвертичной систем. Гипсоносные породы приурочены к кунгурскому ярусу и залегают слоем мощностью 50-80 м.

Для понимания механизма формирования загрязнения необходимо было комплексно изучить условия, для этого использовались различные методы исследований: гидрогеологические и гидрологические, гидрогеохимические, гидрохимические, геофизические, биологические.

При *рекогносцировочном обследовании* территории обнаружены места сброса нефтепродуктов в карстовую воронку, что, предположительно, явилось одной из причин нефтяного загрязнения массива. В меженьный период на берегу водохранилища обнаружен источник с содержанием нефтепродуктов $3,74 \text{ мг/дм}^3$. С наступлением паводка он разгружается субаквально, при этом на поверхности водохранилища наблюдается образование нефтяных пленок.

Также в меженный период наблюдается скопление нефтепродуктов в виде полосы, тянущейся вдоль берега.

Результаты *режимных наблюдений уровня грунтовых вод и определение мощности слоя нефти* показывают, что уровень жидкости в скважинах практически совпадает с таковым в водохранилище, что свидетельствует об их прямой гидравлической связи ($r = 0,99$). Мощность слоя нефти на поверхности подземных вод колеблется в пределах 0,3-2,5 м; данный показатель линейно зависит от уровня воды в водохранилище с обратно пропорциональной связью ($r = (-0,53)$ – для скв. СС-3 и $r = (-0,84)$ – для скв. СС-4), что объясняется высокой закарстованностью района и гидродинамическими условиями.

Для *выявления зон разгрузки загрязненных подземных вод* в Камское водохранилище выполнен комплекс *терморезистивометрических исследований*, в ходе которых выделены участки с аномальными значениями кажущегося сопротивления и температуры воды. Это позволило оконтурить места сосредоточенной разгрузки подземных вод, содержащих нефтепродукты (рисунок 1), и оптимизировать сеть *гидрохимического опробования*, по результатам которого отмечается повышенное содержание нефтепродуктов. Состав поверхностных вод за последние годы практически не изменился и не имеет признаков разгрузки из глубинных горизонтов подземных вод.

По данным *гидрогеохимического опробования* участка установлено, что химический состав подземных вод типичен для трещинно-карстовых вод сульфатных и сульфатно-карбонатных отложений, слагающих данный массив. Зависимость содержания макрокомпонентов от величины минерализации подземных вод имеет линейный характер. Особенностью является повышенное содержание ионов Fe^{2+} и NO_2^- с высоким коэффициентом корреляции (0,92) между ними, что свидетельствует об активной микробиологической деятельности (таблица 1).

Таблица 1 – Фрагмент корреляционной матрицы макрокомпонентов подземных вод

	HCO_3^-	SO_4^{2-}	NO_2^-	Ca^{2+}
Ca^{2+}	0,63	0,80	-0,19	
Fe^{2+}	-0,29	-0,27	0,92	-0,34
Минерализация	0,66	0,74	-0,21	0,75

По результатам *оценки степени активности карстовых процессов*, выполненной по двум методикам, видно, что процесс карстообразования проходил очень активно, но в настоящее время переходит в более пассивную форму. Связи дефицита насыщения и процента насыщения с содержанием ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} описываются линейными уравнениями с коэффициентами корреляции ($r = (-0,45)$, $(-0,87)$ и $(0,86)$, $(-0,50)$ соответственно, что еще раз подтверждает результаты данного метода.

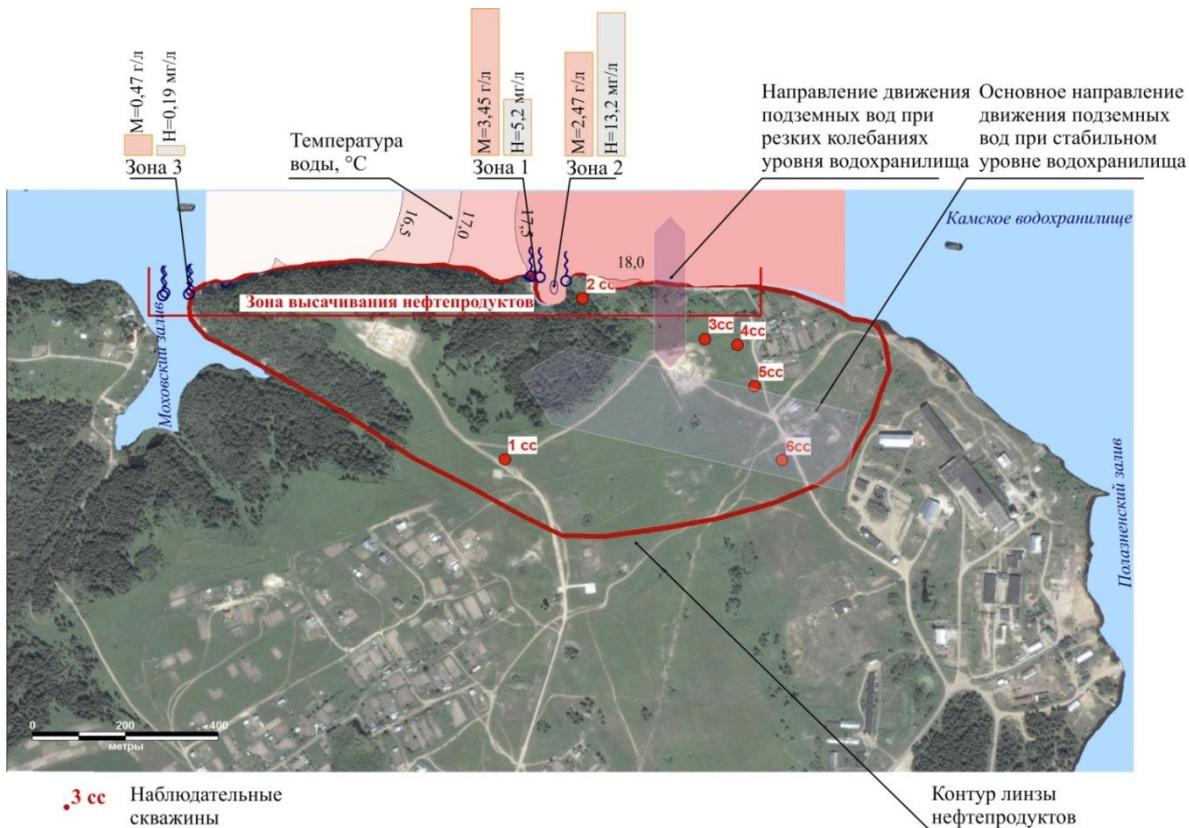


Рисунок 1 – Схема нефтяного загрязнения закарстованного сульфатного массива

Микробиологические исследования нефтезагрязненных карстующихся пород показали наличие в них активного нефтеокисляющего бактериального сообщества, а исследования подземных вод – наличие сульфатвосстанавливающих бактерий. Причиной присутствия аэробного и анаэробного бактериальных сообществ в одном месте является наличие нефтяной линзы. В существующих условиях преимущественное развитие получили сульфатвосстанавливающие бактерии, которые в качестве восстановителя могут использовать углеводороды самой нефтяной линзы. Продуктами бактериальной сульфатредукции являются сероводород, который приводит к растворению сульфатсодержащих минералов, и углекислый газ, способствующий осаждению вторичного кальцита и дополнительному растворению пород. Следовательно, нефтяное загрязнение вызовет активизацию аэробной и анаэробной микрофлоры вод и пород и станет причиной биогенного карстообразовательного процесса.

Таким образом, предложенный комплекс методов позволяет всесторонне охарактеризовать распространение и характер загрязнения и выявить механизм формирования нефтяного загрязнения в гипсовом массиве.

На основании анализа результатов проведенных исследований и проработки фондовых источников причинами формирования линзы нефти на поверхности грунтовых вод стали утечки из аварийных скважин и по затрубному пространству дефектных скважин, разливы нефти и ее сток в карстовые воронки в первые годы эксплуатации Полазненского месторождения, аварии на нефтепроводах.

Проведенными исследованиями установлено, что причина загрязнения массива – линза нефти мощностью 2–3 м на поверхности трещинно-карстовых вод. Закарстованный, в том числе и с поверхности (до 30 % пустотности), гипсовый массив явился хорошим коллектором для нефти и имеет тесную гидравлическую связь с водохранилищем. В результате техногенной битуминизации рыхлых отложений береговой зоны нефть оказалась в своеобразной гидродинамической ловушке (рисунок 2). Дождевые и талые воды инфильтруются в массив и фильтруются сквозь линзу. Подземные воды загрязняются растворимыми нефтепродуктами и поступают в водохранилище. Интенсивность их поступления контролируется колебаниями уровня водохранилища, достигающими 6-7 м в год, количеством осадков, интенсивностью снеготаяния, поэтому концентрации нефтепродуктов в водохранилище крайне неравномерны во времени. Натурным подтверждением этой модели служит то, что в период межени наблюдается разгрузка в виде родников прозрачной опалесцирующей жидкости с сильным запахом углеводородов. После смешивания с водами водохранилища происходит выпадение темных нефтепродуктов.

За счет диффузионных перемещений молекул загрязнителя происходит также загрязнение пород массива. Высокая закарстованность и

трещиноватость массива приводит к быстрому и беспрепятственному проникновению загрязнителя вглубь массива. Карстовые полости и трещины являются как каналами для миграции загрязнителя, так и его коллекторами, где происходит скопление нефтепродуктов. В дальнейшем они выступают в виде вторичного источника загрязнения.

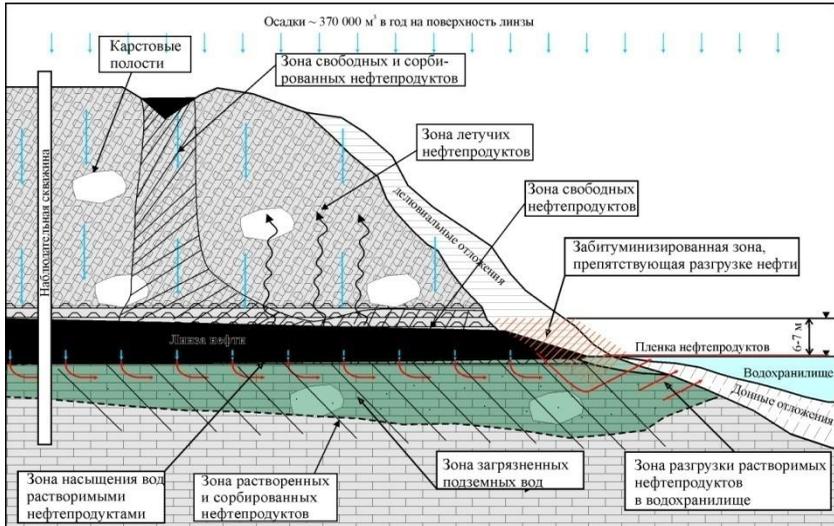


Рисунок 2 – Схема формирования механизма нефтяного загрязнения закарстованного сульфатного массива

В результате длительного влияния линзы нефти формируются новые виды скопления нефтепродуктов в массиве: помимо свободной и растворенной форм, появляются зоны сорбированных на поверхности пород и летучих нефтепродуктов. Все это влияет на качество гипса. Разработка массива без применения мер по ликвидации загрязнения при случайном вскрытии забитуминированной зоны, являющейся гидродинамическим барьером, может привести к разливу нефти в водохранилище и экологической катастрофе.

Высокая закарстованность района исследования является причиной не совсем типичной картины движения подземных вод. При стабильном уровне водохранилища поток подземных вод направлен из залива, находящегося выше по течению, в массив. При сильных колебаниях уровня – из водохранилища или в водохранилище (рисунок 1).

По данным гидрогеохимических исследований и анализа фракционного состава нефти из линзы установлено, что поступления свежей нефти в нее не происходит. В обычных условиях за такой длительный срок загрязнение должно было бы существенно уменьшиться, тем более в условиях высокой закарстованности. Выявленный механизм объясняет причину стойкого

длительного загрязнения, основной особенностью которого является скопление нефти в гидродинамических ловушках.

Учитывая особые условия формирования загрязнения, были предложены и разработаны методы откачки нефти по специальной технологии и интенсификации биохимической деструкции нефти.

Метод откачки нефти. В ходе проведения работ для механизации процесса была собрана установка, состоящая из насоса с пневматическим приводом, спускоподъемного механизма, компрессора, емкости для сбора нефти. Принимающая часть насоса всегда находится в слое нефти, что контролируется датчиками, т.е. откачивается только нефть без забора воды, что является преимуществом данного метода перед его аналогами (рисунок 3).



Рисунок 3 – Насосное оборудование, при помощи которого была произведена откачка нефтепродуктов из скважины СС-3

Опытно-промышленные работы показали реальную возможность откачки нефти из линзы без забора воды. За время эксперимента откачено $12,05 \text{ м}^3$ нефти с малой обводненностью 4,73 %, что облегчает ее транспортировку и первичную переработку. Опытно-промышленные работы показали, что остаточная мощность слоя нефти после откачки составила около 5-10 см.

Для применения *метода биохимической деструкции нефти* специально выделен консорциум аборигенных активизированных микроорганизмов, отобранных из подземных вод массива. В качестве источника активного нефтеокисляющего сообщества микроорганизмов использовалась нефть из линзы. Проведенные исследования показали, что выделенное микробное сообщество способно использовать углеводороды нефти для поддержания своей жизнедеятельности и, следовательно, может быть использовано для интродукции в нефтезагрязненные подземные воды месторождения гипса с целью их биологической очистки.

Через скважины активизированная культура нефтеокисляющих бактерий заливается в подземные воды. Бактерии концентрируются на водонефтяном контакте, и в последующем распространяются потоком подземных вод по

нижней поверхности линзы. Нефть находится в гидродинамической ловушке, и водонефтяной контакт является своеобразной застойной зоной, что обеспечит высокую концентрацию биопрепарата продолжительное время (рисунок 4).

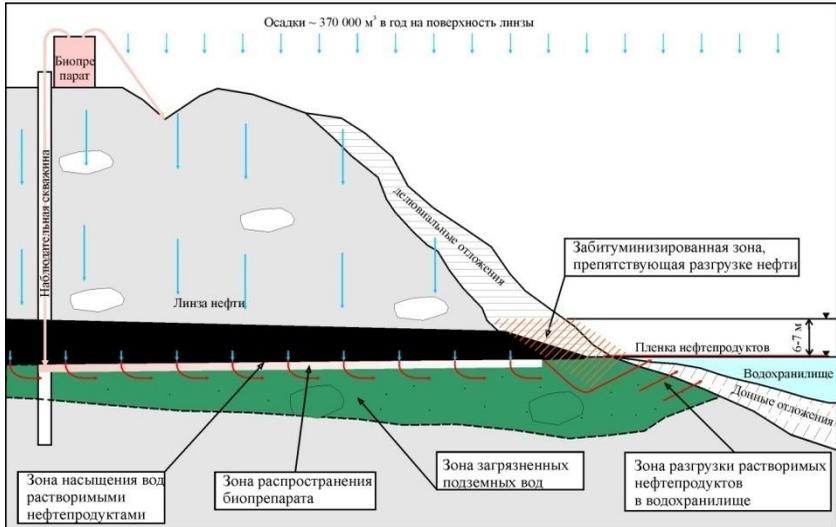


Рисунок 4 – Схема обработки нефтяной линзы биопрепаратами

По результатам экспериментов для биодegradации одной тонны нефтепродуктов необходимо 70 л биопрепарата, рекомендуемая частота внесения препарата в скважину составляет 1 раз в 7–10 дней в количестве 15–20 л. Применяемые нефтеокисляющие бактерии не являются чужеродными, не оказывают вредного воздействия и позволяют удалить нефть с поверхности пород. Аналогичные же разработки имеют ряд недостатков: большая трудоемкость, техническая сложность работ, невозможность применения для обработки карстовых подземных вод и другие.

Предложенные методы взаимно дополняют друг друга, и наибольшая эффективность при ликвидации загрязнения будет достигнута при совместном их применении, после которого возможна разработка данного массива пород для добычи строительного гипса.

Для расчета эффективности предлагаемой технологии выполнена оценка источника загрязнителя (таблица 2). Исходя из вышеизложенных расчетов, видно, что размеры сформировавшейся линзы нефтепродуктов и ее влияние на массив и водохранилище весьма значительны, а запасы нефти в линзе таковы, что их можно рассматривать как эксплуатационные. Срок

окупаемости установки при круглосуточной работе составит 55 дней, а абсолютная экономическая эффективность технологии – около 6 млн руб.

Таблица 2 – Оценка распространения нефтепродуктов в районе исследований

Показатель	Значение
Площадь, м ²	600 000
Мощность, м	0,81
Коэффициент пустотности, д.е.	0,3
Общие запасы, м ³	145 800

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате полевых, лабораторных и экспериментальных исследований установлены закономерности, отражающие связь мощности нефтяного загрязнения от уровня воды в водохранилище при залегании гипсового пласта в береговых частях водоемов, зависимость содержания макрокомпонентов от величины минерализации подземных вод и высокую тесноту связи ионов железа с ионами нитритов, говорящую об активной микробиологической деятельности, что позволило разработать инновационную технологию ликвидации нефтяных загрязнений гипсоносных территорий Пермского края, что имеет большое значение для экономики Западного Урала.

Основные выводы, научные и практические результаты работы заключаются в следующем.

1. Выявлена специфика районов развития закарстованных сульфатных пород и присущей им гидросферы, способствующая, как правило, более интенсивному распространению загрязнения, вследствие отсутствия на ряде участков покровных отложений, литологии слагающих пород, высокой степени трещиноватости и проницаемости, спецификой гидродинамики массива особенно в зоне влияния крупных водоемов при резких колебаниях уровня воды в них.
2. Предложен комплекс методов для изучения нефтяного загрязнения сульфатного массива с учетом его особенностей в карстовых районах, включающий рекогносцировочное обследование территории, наблюдения за уровнем и мощностью слоя нефти на поверхности подземных вод, выявление зон разгрузки загрязненных подземных вод в водохранилище с использованием терморезистивометрических методов, гидрогеохимическое опробование района, гидрохимическое опробование водохранилища, оценка степени активности карстовых процессов, протекающих на территории исследования, выяснение степени влияния деятельности микроорганизмов на нефтяное загрязнение и карстообразование.

3. Установлены линейная зависимость с обратно пропорциональной связью мощности нефтяной линзы в нижней части закарстованного гипсового пласта от уровня воды в водохранилище при его залегании в береговых частях водоемов, а также линейная зависимость содержания макрокомпонентов (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$) от величины минерализации подземных вод, и доказано, что высокая теснота связи ионов железа двухвалентного с ионами нитритов свидетельствует об активной микробиологической деятельности аборигенных микроорганизмов.

4. Выявлены основные причины загрязнения сульфатного закарстованного массива, которыми стали утечки из аварийных и дефектных скважин, аварийные сбросы нефти в карстовые воронки в первые годы эксплуатации месторождения, аварии на нефтепроводах. Изучен механизм загрязнения закарстованного сульфатного массива, заключающийся в формировании линзы нефти на поверхности трещинно-грунтовых вод за счет беспрепятственного проникновения загрязнителя из-за отсутствия покровных отложений, высокой степени пустотности массива, образования гидродинамической ловушки в береговой зоне с выносом подземными водами растворимых нефтепродуктов и дальнейшей субаквальной разгрузкой в водохранилище.

5. Разработана технология по борьбе с загрязнением сульфатного массива с учетом особенностей нефтяного загрязнения и особых требований к ликвидации его очага, расположенного вблизи крупного водохранилища, заключающаяся в откачке нефти по технологии, исключающей извлечение воды на поверхность, с дальнейшей деструкцией оставшихся нефтепродуктов аборигенными микроорганизмами.

6. Показана эффективность предлагаемой технологии: высокая степень извлечения нефтепродуктов, возможность использования откаченной нефти для дальнейшей переработки, низкие затраты микробиологического метода, быстрый срок окупаемости, возможность введения перспективного массива в промышленную эксплуатацию, что позволит увеличить балансовые запасы и благоприятно скажется на экономике Западного Урала. После проведения работ на данной территории можно вести разработку месторождений гипса, что стало возможным вследствие выявленного механизма загрязнения, позволившего решить проблему, которой занимались многие организации, начиная с 70-х годов прошлого века.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Максимович, Н. Г. Методы борьбы с нефтяным загрязнением на закарстованных берегах водохранилищ / Н. Г. Максимович, О. Ю. Мещерякова // Экология урбанизированных территорий. – 2009. – № 4. – С. 55-58.
2. Максимович, Н. Г. Радиоактивность и инженерно-геологические особенности карстовых массивов [Электронный ресурс] / Н. Г. Максимович,

В. А. Гершанок, О. Ю. Мещерякова, А. В. Растегаев // *Современные проблемы науки и образования*. – 2011. – № 4. – Режим доступа: www.science-education.ru/98-4746.

3. Катаев, В. Н., Типы карста Пермского края / В. Н. Катаев, Н. Г. Максимович, О. Ю. Мещерякова // *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта*. – 2013. – Вып. 1. – С. 56-66.

4. Мещерякова, О. Ю. Карст района Полазненского месторождения нефти Пермского края [Электронный ресурс] / О. Ю. Мещерякова // *Фундаментальные исследования*. - № 6 (часть 3). – 2013. – С. 628-633. Режим доступа: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10000771.

5. Максимович, Н. Г. Опыт очистки подземных вод от нефтяного загрязнения биологическими методами / Н. Г. Максимович, В. Т. Хмурчик, О. Ю. Мещерякова // *Промышленная безопасность и экология*. – 2009. – № 4 (37). – С. 34-36.

6. Максимович, Н. Г. Механизм нефтяного загрязнения в районе закарстованных берегов водохранилищ и методы улучшения экологической ситуации / Н. Г. Максимович, О. Ю. Мещерякова // *Современные проблемы водохранилищ и их водосборов*. Т.1: Гидро- и геодинамические процессы. Химический состав и качество воды: тр. Междунар. науч. – практ. конф. (26 мая – 28 мая 2009 г., Пермь) – Пермь, 2009. – С. 265-270.

7. Максимович, Н. Г. Комбинированные методы очистки подземных вод от нефтяного загрязнения / Н. Г. Максимович, В. Т. Хмурчик, О. Ю. Мещерякова, А. В. Денисов // *Ресурсно-экологические проблемы в XXI веке: инновационное недропользование, энергетика, экологическая безопасность и нанотехнологии: материалы Междунар. конф. Москва-Алушта, 27 сентября-04 октября 2009 г.* – М.: РУДН, 2009. – С. 264-267.

8. Мещерякова, О. Ю. Очистка нефтезагрязненных подземных вод в районе распространения карстующихся сульфатных пород / О. Ю. Мещерякова // *Вестник молодых ученых: материалы конференции студентов, аспирантов и молодых ученых геологического факультета Пермского государственного университета*. – Пермь, 2009. – С. 149-153.

9. Мещерякова, О. Ю. Факторы миграции и трансформации нефти в геологической среде / О. Ю. Мещерякова // *Проблемы геологии и освоения недр: труды XIV Международного симпозиума им. академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 65-летию Победы советского народа над фашистской Германией в Великой Отечественной Войне 1941-1945 гг.* – Т. 2; Томский политехнический университет. – Томск. Изд-во Томского политехнического университета. – 2010. – С. 368-370.

10. Мещерякова, О. Ю. Расчет характеристик линзы нефтепродуктов, сформировавшейся на поверхности трещинно-карстовых вод в районе водохранилища / О. Ю. Мещерякова // *Геология в развивающемся мире: материалы I Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т. / отв. ред. С. М. Блинов*. – Т. 2. – Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2010. – С. 70-72.

11. Максимович, Н. Г. Микробиологические процессы при нефтяном загрязнении карстовых массивов / Н. Г. Максимович, О. Ю. Мещерякова, В. Т. Хмурчик // *Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник научных трудов*. – Вып. 12. – М.: ИПЦ «Луч», 2010. – С. 89-93.

12. Хмурчик, В. Т. Микроорганизмы, карст, нефть и спелеогенез / В. Т. Хмурчик, Н. Г. Максимович, О. Ю. Мещерякова // *Пещеры: сб. науч. тр.* –

Естественнонаучный институт Перм. гос. ун-та. – Пермь, 2010. – Вып. 33. – С. 130-135.

13. **Мещерякова, О. Ю.** Оценка степени активности карстовых процессов (на примере Полазненского участка) / О. Ю. Мещерякова // Вестник Пермского университета. Геология. – 2011. – Вып. 1(10). – С. 83-91.

14. **Мещерякова, О. Ю.** Особенности нефтяного загрязнения карстовых районов Пермского края / О. Ю. Мещерякова // Геология в развивающемся мире (по материалам Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых) / отв. ред. Е. Н. Батурин. – Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2011. – С. 254-256.

15. **Мещерякова, О. Ю.** Особенности нефтяного загрязнения карстовых районов / О. Ю. Мещерякова, Н. Г. Максимович // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы юбилейной конф., посвященной 80-летию геолог. ф-та и 95-летию Перм. ун-та / гл. ред. Р. Г. Ибламинов. – Перм. гос. нац. иссл. ун-т. – Пермь, 2011. – С. 188-190.

16. **Мещерякова, О. Ю.** Оценка экономической эффективности новых методов борьбы с нефтяным загрязнением подземных вод / О. Ю. Мещерякова // Синтез знаний в естественных науках. Рудник будущего: проекты, технологии, оборудование: материалы Междунар. науч. конф.: в 2 т. / отв. ред. В. А. Наумов; Перм. гос. нац. иссл. ун-т; Естественнонауч. ин-т. – Пермь, 2011. – Т. 1. – С. 139-143.

17. **Мещерякова, О. Ю.** Причины формирования нефтяного загрязнения гидросферы в районе Полазненского месторождения нефти / О. Ю. Мещерякова // Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – Москва, 2013. – Т. 4. – С. 19-21.

18. **Shumilova, O. (Meshcheryakova, O.)** Technogenic Influence on the Perm Karst Territories / O. Shumilova (O. Meshcheryakova) // School 2006: Environment Biomonitoring and Evaluation of its Quality by Ecological Indexes, July 17-29, 2006. – Palermo-Geraci Siculo, 2006. – С. 46.

19. Maximovich, N. G. The influence of gypsum karst on hydrotechnical constructions in Perm region / N. G. Maximovich, **O. Y. Meshcheryakova** // Geological Engineering Problems in Major Construction Projects: Proceedings of the International Symposium and the 7th Asian Regional Conference of IAEG, September 9-11, 2009. Chengdu, China. – Chengdu, China, 2009. – Vol. 2. – P. 604-607.

20. Maximovich N. G., Khayrulina E. A., **Meshcheryakova O. Y.** Geochemical barriers and oil pollution // Геоэкологические проблемы Приуралья: материалы Междунар. летней школы-семинара (1-12 авг. 2013) / науч. ред. С. А. Бузмаков. – Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2013. – С. 83-84.