

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Уральское отделение Российской академии наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова РАН

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

Правительство Архангельской области

ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С
МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

II Юдахинские чтения

**ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И
УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ
АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ**

Сборник материалов

Архангельск, 2019



УДК [55+57/59+332.1+9+61](98)(08)
П78

Проблемы обеспечения экологической безопасности и устойчивое развитие арктических территорий: сборник материалов Всероссийской конференции с международным участием II Юдахинские чтения / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральское отделение Российской академии наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», Правительство Архангельской области; отв. ред. д.б.н. И.Н. Болотов. – Архангельск, 2019. – 688с.: рис., табл.

В сборнике представлены материалы Всероссийской конференции с международным участием по актуальным проблемам современной фундаментальной науки, охватывающей различные междисциплинарные направления и актуальные аспекты в области обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития арктических территорий.

Материалы конференции предназначены для научных работников, преподавателей вузов, аспирантов, студентов и специалистов, занимающихся вопросами обеспечения экологической безопасности в Арктике.

В рамках конференции проводится Молодежная научная школа для студентов, аспирантов и молодых ученых, предусматривающая выступление ведущих специалистов в области исследований Арктики.

Материалы публикуются в авторской редакции

Конференция проведена при поддержке ООО НПК «Вулкан»



ISBN 978-5-6040303-3-2

© ФГБУН ФИЦКИА РАН, 2019
© Коллектив авторов, 2019

КОМПЛЕКС ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АКВАТОРИИ ВОДОХРАНИЛИЩА

О.Ю. Мещерякова, Н.Г. Максимович

Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, olgam.psu@gmail.com

Примером регионального экологического кризиса является загрязнение гидросферы на Полазненском месторождении нефти, расположенном в районе развития сульфатного карста на берегу Камского водохранилища в Добрянском районе Пермского края, где с начала 70-х годов XX века отмечаются интенсивные нефтегазопроявления. Здесь на поверхности грунтовых вод обнаружена линза нефти, которая является источником загрязнения водохранилища (Рис. 1) [1].

Поскольку Камское водохранилище является основным источником водоснабжения Пермского края, остро встал вопрос об очистке нефтезагрязненных вод. Для решения поставленного вопроса необходимо было сначала выявить причины загрязнения водохранилища, для чего был проведен комплекс работ. Это позволило оконтурить места сосредоточенной разгрузки подземных вод, содержащих нефтепродукты.

На этапе изучения очага загрязнения подземных вод нефтепродуктами в районе водохранилища целесообразно использовать комплекс различных прямых и косвенных методов, который включал в себя следующие виды работ:

1. рекогносцировочное обследование территории с выявлением поверхностных причин и признаков загрязнения;
2. наблюдения за уровнем и мощностью слоя нефти на поверхности подземных вод;
3. выявление зон разгрузки загрязненных подземных вод в водохранилище с использованием терморезистивометрических методов;
4. гидрохимическое опробование водохранилища;
5. гидрогеохимическое опробование района;
6. оценка степени активности карстовых процессов, протекающих на территории исследования;
7. выяснение степени влияния деятельности микроорганизмов на нефтяное загрязнение и карстообразовательную деятельность.

Целью *рекогносцировочного обследования территории* было выявление мест нефтепроявлений на Камском водохранилище, обнаружение возможных участков сброса нефти в карстовые воронки, полости, скважины на начальном этапе разработки месторождения.

При обследовании территории была обнаружена карстовая воронка, в которую когда-то осуществлялся сброс нефтепродуктов. Песок на стенках воронки сцементирован нефтепродуктами, имеет черный цвет. Ниже по склону обнаружена небольшая карстовая воронка с водоемом на дне, на поверхности которого обнаружен слой нефтепродуктов.

При обследовании береговой зоны, у уреза Камского водохранилища (при абсолютной отметке 101,81 м) обнаружен источник. Вода прозрачная с минерализацией 3,4 г/л имеет резкий запах нефтепродуктов. Содержание нефтепродуктов 3,74 мг/л. При впадении в водохранилище в воде образовывалась темное пятно, похожее на мазут (Рис. 2).



Рис. 1 – Район исследований



Рис. 2 – Выпадение темных нефтепродуктов при разгрузке загрязненных подземных вод в Камское водохранилище

Режимные наблюдения проводились по скважинам, входящих в наблюдательную сеть за состоянием гидросферы (зона пресных вод) Полазненского месторождения нефти. Наблюдательные скважины находятся в районе техногенного скопления нефти. С целью уточнения отметок устьев наблюдательных скважин была выполнена их высотная привязка. В наблюдательных скважинах производился замер уровня грунтовых вод и определялись мощности слоя нефти. Результаты наблюдений показывают, что уровень жидкости в скважинах находится практически на одном уровне с водохранилищем. Это свидетельствует об их прямой гидравлической связи, что обусловлено интенсивной закарстованностью пород, особенно в зоне сливной призмы (зоне влияния Камского водохранилища). Изменения во времени мощности слоя нефти имеет более сложный характер и на прямую не связаны с колебаниями уровня воды в водохранилище.

Из наблюдательных скважин производился отбор проб для определения химического состава подземных вод. По данным проведенных наблюдений установлено, что подземные воды имеют сульфатный гидрокарбонатно-кальциевый состав. Минерализация вод изменяется от 0,65 до 3,50 г/л. Водородный показатель имеет значение 6,61–8,91. Преобладающим среди катионов является кальций, а доминирующими анионами являются сульфаты. Подземные воды имеют повышенное содержание нефтепродуктов.

Терморезистивиметрические исследования проводились для выявления участков Камского водохранилища с аномальными значениями кажущегося сопротивления и температуры воды.

Терморезистивиметрический метод основан на том, что температура и минерализация вод водохранилища отличается от этих параметров разгружающихся подземных вод. В местах разгрузки подземных вод в акваторию водохранилища возникают аномалии температуры и минерализации. Для выявления мест разгрузки на акватории по сетке проводятся замеры кажущегося сопротивления воды, которые функционально связаны с минерализацией, а также температуры. По величине аномалий можно в определенной степени судить об интенсивности разгрузки.

В общей сложности было проведено 3 серии наблюдений. Изучен прибрежный участок водохранилища протяженностью около 1,5 км и шириной около 100 м.

Исследуемая территория разбивалась на профили, среднее расстояние между которыми составляло 100 м. На аномальных участках производилось сгущение сетки исследований. На участках, не имеющих аномалий, расстояние между профилями увеличивалось. На каждом из профилей располагалось по 4 точки наблюдения на расстоянии 5, 20, 40 и 70 м от береговой линии. Исследования проводились на 13 профилях, включающих 66 точек. Измерения температуры и кажущегося

сопротивления воды проводились у дна, на половине глубины и у подошвы слоя льда, либо у поверхности воды.

Сопротивление воды зависит от температуры. Чтобы исключить влияние температурного фактора на полученные результаты все значения измеренного кажущегося сопротивления с помощью палеток были приведены к температуре 5 °С (R_{t5}) для зимних измерений и к 18 °С (R_{t18}) – для летних измерений.

На основании результатов терморезистивиметрических исследований оптимизировалась сеть гидрохимических исследований. Пробы воды отбирались, прежде всего, на участках с обнаруженными аномалиями кажущегося сопротивления воды. Всего было отобрано 62 пробы на общий анализ и 25 проб на нефтепродукты.

Наиболее контрастные результаты получены по измерениям в придонном слое воды. Изменения температуры воды зависят от глубины. Карты изобат и изотерм хорошо сопоставимы. Температура воды с увеличением глубины изменяется от 0,1 до 3,5 °С. Подземные воды, которые в этот период имеют температуру 3–4 °С, не могут привести к формированию температурных аномалий.

Таким образом, с помощью терморезистивиметрических и гидрохимических исследований выявлено три аномальных зоны с пониженными значениями кажущегося сопротивления воды (Рис. 3).

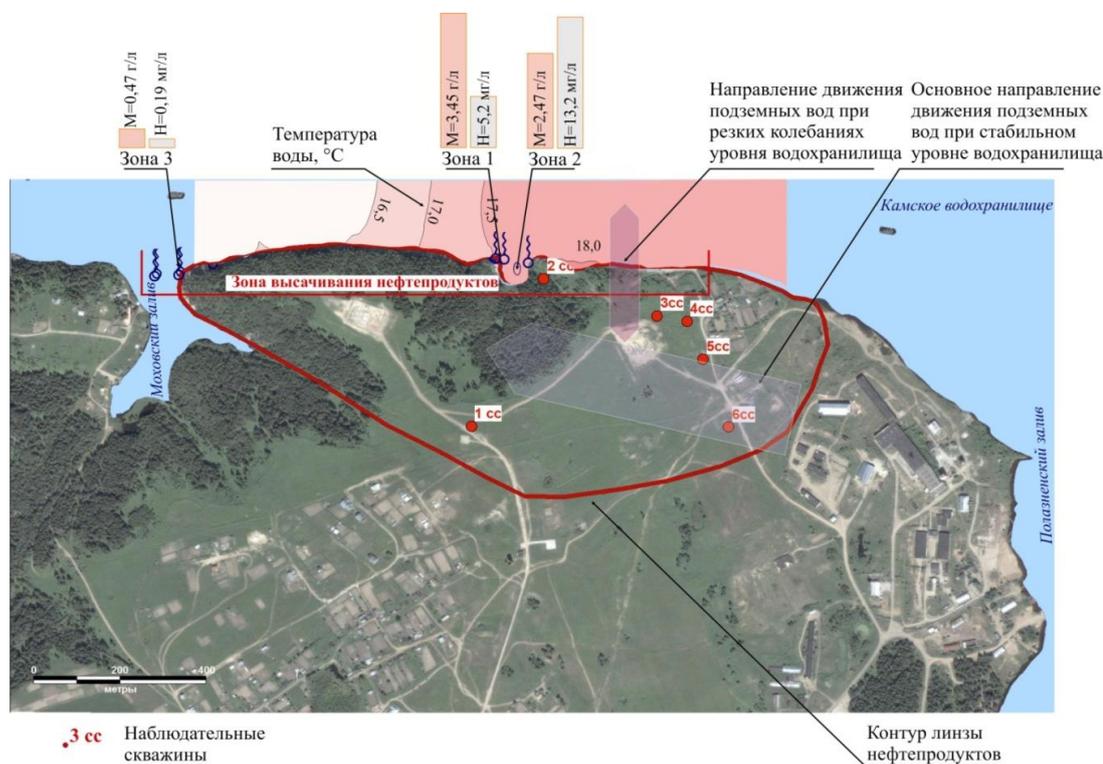


Рис. 3 – Схема расположения зон сосредоточенной разгрузки подземных вод, содержащих нефтепродукты

Первая зона сформировалась за счет субаквальной разгрузки подземных вод в виде группы из 4 родников. Наличие некоторых родников подтверждено визуально. В период наиболее низкого уровня воды в Камском водохранилище (конец весны) родники, которые обычно разгружаются субаквально, оказываются в береговой зоне у уреза воды. Вторая аномальная зона приурочена к разгрузке подземных вод в водохранилище из карстовой воронки летом и в начале зимы. В конце зимы – начале весны во время низкого уровня воды в Камском водохранилище воронка оказывается на берегу. Третья зона расположена в западной части исследуемого участка и сформировалась за счет разгрузки подземных вод из 2 родников.

Таким образом в результате исследований выявлено 3 зоны сосредоточенной

разгрузки подземных вод, содержащих значительное количество нефтепродуктов. Максимальные значения минерализации в аномальных зонах в 9 раз, а максимальные концентрации нефтепродуктов – в 165 раз превышают эти параметры на остальной части исследованной площади.

Вода в придонной части аномальных зон по величине минерализации и составу соответствует трещинно-карстовым водам кунгурского яруса. Как и вода наблюдательных скважин она характеризуется минерализацией 2-3,5 г/л, сульфатно-кальциевым составом, повышенным содержанием аммония.

Гидрохимическое и гидрогеохимическое опробования. Выполнялся отбор проб воды из Камского водохранилища на общий химический анализ и нефтепродукты. С целью уточнения мест сосредоточенной разгрузки на акватории водохранилища пробы воды отбирались по сетке. Для этого исследуемая территория разбивалась на профили, среднее расстояние между которыми составляло 50–200 м. На ранее выявленных аномальных участках производилось сгущение сетки исследований. На каждом из профилей располагалось по 3 точки наблюдения на расстоянии 5, 20 и 50 м от береговой линии. Исследования проводились на 15 профилях. Изучен прибрежный участок водохранилища протяженностью около 2 км.

На всех профилях проводился отбор проб и дальнейший их экспресс-анализ на Ca, Eh, pH. Кроме того на всех профилях в точках на расстоянии 5 м от берега проводился отбор проб на общий анализ и нефтепродукты.

Построенные изолинии Eh, pH и содержания кальция показали аномалии по этим показателям в ранее выявленных зонах разгрузки подземных вод. Аномалии подтверждены данными общего химического анализа. В аномальных зонах наблюдается повышенное содержание нефтепродуктов.

Гидрогеохимическое опробование территории проводилось в наблюдательных скважинах, а также отбирались пробы из источника в водохранилище. По данным проведенных наблюдений установлено, что подземные воды имеют сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевый состав.

На основании данных химического анализа проб подземных вод необходимо было выяснить существует ли поступление свежей нефти в настоящее время. Для этого была вычислена корреляционная зависимость между основными химическими компонентами воды. Методика корреляционных связей позволила произвести качественную оценку взаимосвязи между признаками, дала наглядное представление об изменениях значений одного признака относительно другого.

По результатам вычислений установлено, что существует весьма тесная связь между ионами Ca^{2+} и HCO_3^- , а также Ca^{2+} и SO_4^{2-} , коэффициенты корреляции равны соответственно (0,63) и (0,80). Такая связь обусловлена, прежде всего, наличием карбонатных и сульфатных пород, слагающих массив.

Тесная связь обнаружена и между ионами $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ и Cl^- , коэффициент корреляции равен (0,62). Между другими показателями зависимостей выявлено не было. Особенностью изучаемых подземных вод является повышенное содержание ионов Fe^{2+} и NO_2^- с высоким коэффициентом корреляции между ними, что свидетельствует об активной микробиологической деятельности. В обычных условиях эти показатели либо отсутствуют, либо имеют крайне низкие значения, а наиболее характерным является присутствие ионов Fe^{3+} и NO_3^- . При наличии органики происходит восстановление ионов Fe^{3+} до ионов Fe^{2+} , а NO_3^- - до NO_2^- . По данным химического анализа были построены графики зависимости содержания макрокомпонентов от минерализации. По графическим данным видно, что наблюдается линейная зависимость с минерализацией следующих компонентов: SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$.

Таким образом, на основании проведенных исследований по химическому составу воды можно сделать вывод, что свежего поступления вод из глубоких

горизонтов не обнаружено. Состав воды соответствует составу пород, слагающих данный массив. Это заключение косвенно подтверждает, что источником поступления загрязнения является сброс нефти в карстовые воронки в первые годы эксплуатации месторождения, а также разливы из аварийных скважин.

Для оценки степени активности карстовых процессов в пределах исследуемого участка были выбраны следующие методики

1) методика Скилмена-Мак Дональда-Стиффа по определению процента насыщения вод сульфатом кальция [2];

2) методика В.П. Зверева по расчету дефицита насыщения вод сульфатом кальция [3].

Проведенные расчеты подтвердили активность карстообразовательных процессов, протекавших на данной территории, но переходящих в более пассивную форму из-за перенасыщения подземных вод сульфатом кальция. Оба рассмотренных метода дают их правомерную прогнозную оценку, но для детального изучения поставленной проблемы необходимо провести комплексную [4].

Микробиологические исследования нефтезагрязненных карстующихся пород показали наличие в них активного нефтеокисляющего бактериального сообщества, а исследования подземных вод – наличие сульфатовосстанавливающих бактерий. Причиной присутствия аэробного и анаэробного бактериальных сообществ в одном месте является наличие нефтяной линзы. В существующих условиях преимущественное развитие получили сульфатовосстанавливающие 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 [5].

Таким образом, предложенный комплекс методов позволяет всесторонне охарактеризовать распространение и характер загрязнения, выявить механизм формирования нефтяного загрязнения в гипсовом массиве, а также разработать комплекс мероприятий по снижению нефтяного загрязнения Камского водохранилища.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимович Н.Г., Мещерякова О.Ю. Методы борьбы с нефтяным загрязнением на закарстованных берегах водохранилищ // Экология урбанизированных территорий. 2009. № 4. С. 55-58.
2. Яркеева Н.Р. Оценка равновесной насыщенности попутно-добываемых вод сульфатом кальция в зависимости от их суммарной минерализации // Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений: сб. науч. тр. Уфа: Изд-во УГНТУ, 1999. С. 168-174.
3. Зверев В.П. Гидрохимические исследования системы гипсы – подземные воды. Москва: Изд-во «Наука». 1967. 100 с.
4. Мещерякова О.Ю. Оценка степени активности карстовых процессов (на примере Полазненского участка) // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. Вып. 1(10). С. 83-91.
5. Максимович Н.Г., Мещерякова О.Ю., Хмурчик В.Т. Микробиологические процессы при нефтяном загрязнении карстовых массивов // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник научных трудов. Вып. 12. М: ИПЦ «Луч», 2010. С. 89-93.