

Н. Г. Максимович, О. Ю. Мещерякова
Естественнонаучный институт, Пермский государственный
национальный исследовательский университет

НЕФТЯНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В КАРСТОВЫХ РАЙОНАХ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМ

В статье рассмотрена проблема загрязнения Камского водохранилища при разработке Полазненского месторождения нефти. Основным фактором, способствующим загрязнению является интенсивная закарстованность. В качестве методов борьбы разработаны, опробованы и запатентованы два способа: откачка линзы нефти с поверхности подземных вод и биологическая деструкция нефтепродуктов активизированными аборигенными микроорганизмами.

Ключевые слова: карст, нефтяное загрязнение, методы очистки, откачка нефти, микробиологический метод

N. G. Maksimovich, O. Yu. Meshcheryakova
Natural Sciences Institute, Perm State University

OIL CONTAMINATING OF GROUNDWATER IN KARST AREAS AND CLEANING METHODS

This article deals with the pollution problem of the Kama reservoir during the mining of Polazna oil minefield. The main factor contributing to the pollution is the intensive karst processes of reservoir banks. Two methods were developed, tested and patented for controlling this pollution. They are the pumping out the oil lens from the surface of underground waters and the biological destruction of oil products by active aboriginal microorganisms.

Keywords: karst, oil pollution, cleaning methods, oil pumping, microbiological method

Проблемы нефтяного загрязнения детально рассматривались в работах В. М. Гольдберга, С. Л. Давыдовой, Н. Н. Егорова, Е. С. Капустина, А. А. Оборина, Н. П. Солнцевой, Ю. И. Пиковского и др.

Б. А. Бачурин, В. Н. Быков, В. П. Костарев, Н. Г. Максимович и другие изучали процесс нефтяного загрязнения непосредственно на закарстованных территориях. Но, несмотря на многочисленные исследования, нет единого подхода к изучению нефтяного загрязнения в карстовых районах, что явилось причиной исследования данной проблемы.

Лаборатория геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ занимается проблемами нефтяного загрязнения в карстовых районах и разработкой

природоохранных технологий около 15 лет [1-36]. Механизм нефтяного загрязнения в районе закарстованных берегов изучался на примере Камского водохранилища – основного источника водоснабжения Пермского края. Исследования проводились на участке протяженностью 1,2 км в районе Полазненского месторождения нефти [9].

Установлено, что причина загрязнения сульфатного массива, а также водохранилища – линза нефти мощностью 2–3 м на поверхности трещинно-карстовых вод (рис. 1). Источник нефти: разливы, сбросы нефти в карстовые полости и т.д. – в 60–70-е гг. прошлого века (причины формирования линзы рассмотрены ниже). В настоящее время по данным наблюдений поступления свежей нефти не зафиксированы. По составу нефть линзы близка к нефти разрабатываемой яснополянской залежи, однако окисленная, утратившая бензиновые фракции и высокомолекулярные парафиновые углеводороды [22].

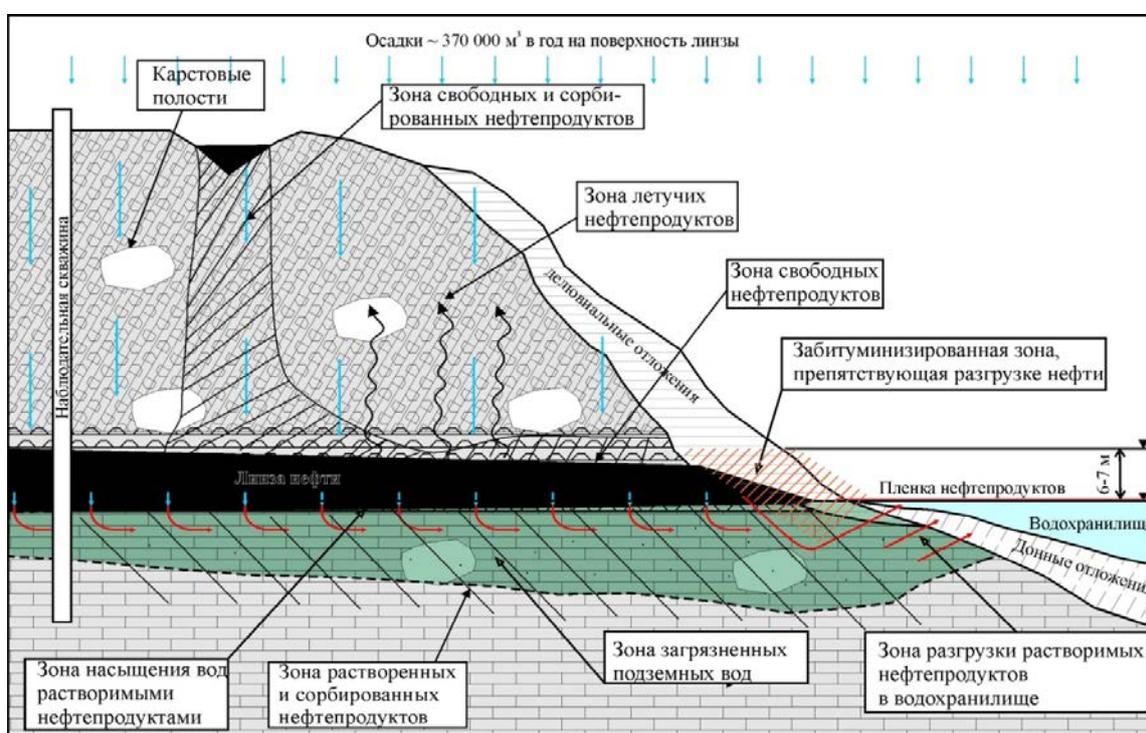


Рис. 1. Механизм загрязнения массива нефтепродуктами

Закарстованный (до 30 % пустотности), в том числе и с поверхности, гипсовый массив, явился хорошим коллектором для нефти и имеет тесную гидравлическую связь с водохранилищем. В результате битуминизации рыхлых отложений береговой зоны нефть оказалась в своеобразной гидродинамической ловушке (рис. 1).

Основной механизм загрязнения вод следующий. Дождевые и талые воды (около 280 тыс. м³ в год с учетом испарения на площадь линзы) инфильтруются в закарстованный массив и за счет разности плотностей фильтруются сквозь линзу. 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 по времени.

За счет диффузионных перемещений молекул загрязнителя происходит также загрязнение пород массива, т.е. происходит миграция нефтепродуктов как вниз, так и вверх по разрезу.

Литология пород массива (гипсы и ангидриты) определяет их низкие фильтрационные и сорбционные способности по отношению к загрязнителю. Но 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.

Таким образом, при первичной инфильтрации загрязнителя породы массива не подвергаются сильному загрязнению. Но при длительном влиянии 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 забитуминизированной зоны, являющейся гидродинамическим барьером, может привести к разливу нефти в водохранилище и экологической катастрофе.

Локализация и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов предусматривает выполнение многофункционального комплекса задач, реализацию различных методов и использование технических средств. Все многообразие методов по борьбе с нефтяным загрязнением можно разделить на четыре больших группы: механические, физико-химические, биологические и термические.

Выполненные исследования и анализ известных способов показали, что наиболее перспективными методами борьбы с нефтяным загрязнением подземных вод и пород закарстованного сульфатного массива нефти являются методы, позволяющие устранить основную причину – линзу нефти на поверхности подземных вод, тем более, что в настоящее время нет признаков поступления в нее свежей нефти.

Учитывая особенности района исследований, была предложена технология, основанная на разработанных методах откачки нефти по специальной технологии и интенсификации биохимической деструкции нефти, которые могут использоваться параллельно, поскольку они не исключают, а дополняют друг друга [9, 11, 18].

Метод откачки нефти. В ходе проведения работ было опробовано два варианта откачки. Первый – использована плунжерная пара штангового глубинного насоса с ручным приводом, который применен исходя из требований безопасности к электрическому приводу. Проведенные испытания показали возможность регулировать параметры откачки в необходимых пределах.

Для механизации процесса разработан второй вариант откачки по схеме, состоящей из насоса с пневматическим приводом, что обусловлено требованиями безопасности, спускоподъемного механизма, компрессора, который находился на расстоянии 30 м от скважины, емкости для сбора нефти. Принимающая часть насоса всегда находится в слое нефти, что контролируется датчиками (рис. 2).



Рис. 2. Насосное оборудование, при помощи которого была произведена откачка нефтепродуктов

В ходе работ была произведена откачка нефти из линзы на поверхности подземных вод без забора воды, для чего использовался специальный пневматический насос для отбора нефтесодержащей жидкости.

Отработаны все технологические элементы: датчики глубины и мощности линзы, возможность оперативного изменения глубины насоса и т.д. В нижней части насоса имеются два датчика. Нижний – предназначен для контроля границы вода-нефть; при достижении водной поверхности цепь замыкается, что отображается отклонением стрелки на счетчике. Вторым датчик контролирует слой нефти и действует по такому же принципу, что и первый.

Таким образом, имеется возможность контроля откачки НСЖ из слоя линзы нефти без забора воды. Наблюдения за мощностью слоя нефти в ходе и после откачки доказывают эффективность метода.

Опытно-промышленные работы показали, что остаточная мощность слоя нефти после проведения откачки около 5-10 см, т.е. можно откачать не менее 90 % нефти из линзы.

Метод биохимической деструкции. Существуют два подхода к биодegradации нефтяных углеводородов в естественной среде [12]:

а) стимуляция естественной нефтеокисляющей микрофлоры путем создания оптимальных условий для ее развития (внесение азотно-фосфорных удобрений, аэрация и др.);

б) введение в загрязненную экосистему активных углеводородокисляющих микроорганизмов наряду с добавками солей азота и фосфора.

Отечественные и зарубежные технологии борьбы с нефтяными загрязнениями подземных вод основаны, как правило, на использовании технических средств (сбор, откачка нефти и т.д.) или различных препаратов, в том числе и микробиологических. Борьба с нефтяным загрязнением подземных вод требует особых приемов и технологий, учитывающих особенности гидродинамического режима подземных вод, литологический состав вмещающих пород и характер перераспределения нефти в системе «вода – порода».

Задачей данного исследования являлось выделение из субстратов Полазненского нефтяного месторождения активного нефтеокисляющего сообщества микроорганизмов для его последующего использования в целях очистки от нефтяных загрязнений. Следует отметить, что интродукция в нефтезагрязненные почвы автохтонных (то есть выделенных из этих почв) нефтеокисляющих микроорганизмов не оказывает негативного влияния на естественную экологическую обстановку.

В качестве источника активного нефтеокисляющего сообщества микроорганизмов использовалась нефть из линзы и нефтесборника. Сообщество выделяли при комнатной температуре методом накопительной культуры путем трехкратного пересева на среду Таусона с нефтью, как единственным источником углерода и энергии для развития сообщества.

Следует особо отметить, что данный метод предполагает использование специально выделенных из природной среды нефтеокисляющих микроорганизмов, которые не являются чужеродными для нее и не оказывают вредного воздействия какого-либо рода.

Технологическая схема применения данного метода следующая. Через существующие 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. Кроме скважин для заливки культуры могут использоваться карстовые воронки (рис. 3).

В скважине применялся биопрепарат, который вносили трижды через небольшие промежутки времени (рис. 4). Биопрепарат вносили в период повышения уровня воды в Камском водохранилище, для того чтобы время нахождения биопрепарата в контакте с нефтяной линзой было максимальным (во время повышения уровня воды в Камском водохранилище биопрепарат с потоком подземных вод распространяется вглубь массива, а с понижением уровня воды в водохранилище перемещается в направлении водохранилища).

В результате действия биопрепарата на данном этапе из нефтяной линзы скважины было удалено н-алканов – 0,71 г/100 г нефти, изопреноидных углеводов – 0,14 г/100 г нефти (или примерно по 10 % от их содержания).

Аналогичные разработки (патенты №№ 2107042, 1838598, 1264634, 2232806, 2043312) имеют ряд недостатков: большая трудоемкость и техническая сложность работ по выделению анаэробных микроорганизмов и наращиванию их биомассы, невозможность применения для обработки карстовых подземных вод, содержащих растворенный кислород, низкая эффективность в случаях высокой степени загрязненности нефтью, материальные затраты, связанные с откачкой воды, ее отстаиванием и аэрацией, а также применимость способа только при низком остаточном содержании нефтепродуктов в воде.

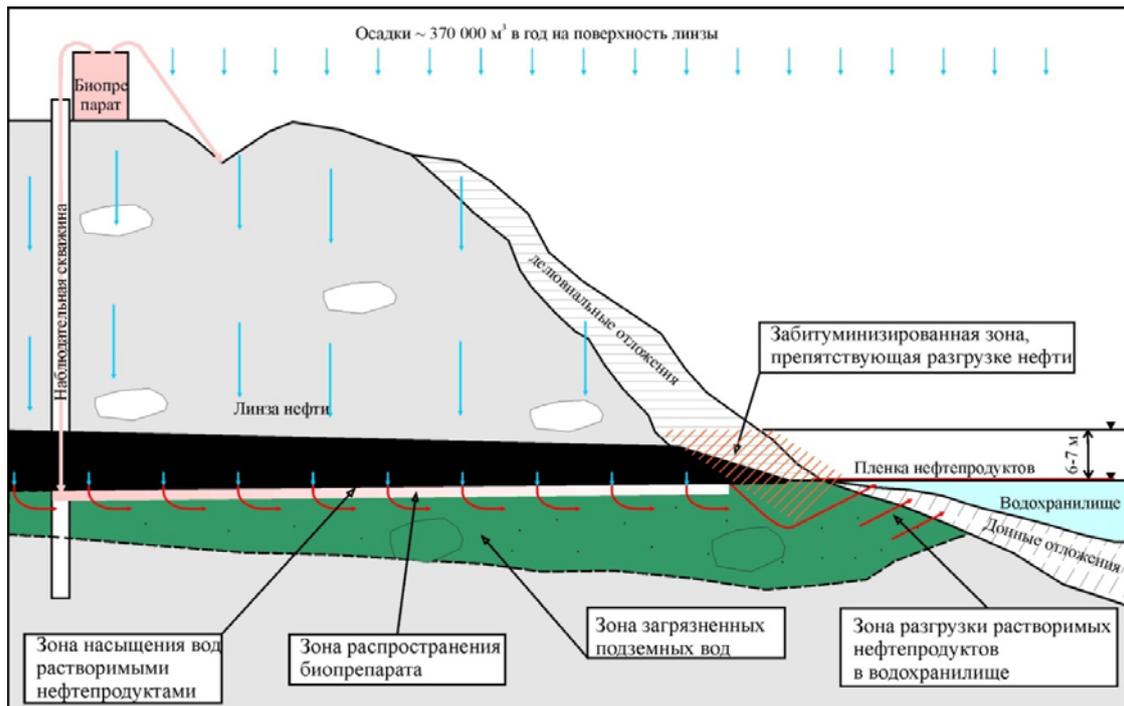


Рис. 3. Схема обработки нефтяной линзы биопрепаратами



Рис. 4. Заливка культуры нефтеокисляющих бактерий в скважину

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 массива с целью их биологической очистки. Данный консорциум может быть применен для очистки не только подземных, но и поверхностных и сточных вод. Его эффективность будет зависеть от конкретных (геохимических, литологических, гидродинамических) природных условий. Метод может быть использован как самостоятельный, так и как дополнительный к традиционным и повышать при этом эффективность очистки. Особый эффект данной технологии можно ожидать при очистке пород от сорбированных нефтепродуктов в зоне сезонного колебания уровня подземных вод.

В результате действия биопрепарата плотность нефти увеличивалась на 0,4 %, содержание силикагелевых смол уменьшалось на 4 %, массовая доля парафина снижалась на 44 %.

По примерным оценкам для биодеградации 1 тонны нефти необходимо 70 литров биопрепарата. При этом воздействию препарата подвергаются алканы нормального и изопреноидного строения как наиболее водорастворимые подвижные фракции нефти и поэтому вносящие основной вклад в загрязнение Камского водохранилища.

Рекомендуемая частота внесения препарата составляет один раз в 7-10 дней в количестве 15-20 литров. За время экспериментов за счет биодеградации было удалено около 1,9 тонны нефти. Таким образом, предлагаемый метод может быть использован как дополнительный к откачке нефти из линзы.

На разработанные природоохранные методы лабораторией геологии техногенных процессов ЕНИ ПГНИУ были получены патенты [2, 14, 15, 26].

Разработанная на основе использования автохтонного нефтеокисляющего бактериального сообщества технология ускоряет биологическую очистку нефтезагрязненных подземных вод. Технология может быть применена для очистки не только подземных, но и поверхностных и сточных вод. Ее эффективность будет зависеть от конкретных природных условий (геохимических, литологических, гидродинамических). Также 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 нефтепродуктов в зоне сезонного колебания уровня подземных вод.

Таким образом, выполненные работы показали, что при наличии закарстованных пород механизм загрязнения водохранилища нефтепродуктами имеет достаточно сложный характер и требует специальных методов для реализации природоохранных мероприятий.

Работа подготовлена при поддержке гранта РФФИ 16-35-00104 мол_а «Миграция углеводородов при фильтрационно-диффузионном переносе в

карстовых районах» и со стороны Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания № 2014/153 № 269 в сфере научной деятельности.

Библиографический список

1. Катаев В. Н., Максимович Н. Г., Мещерякова О. Ю. Типы карста Пермского края // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2013. Вып. 1. С. 56-66.
2. Максимович Н. Г. Способ очистки загрязненного нефтью и нефтепродуктами грунта и система сооружений для его реализации / Пат. 2331488 Рос. Федерация: МПК В 09 С 1/02; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «Пермский государственный университет». – № 2006140925/15; заявл. 20.11.06; опубл. 20.08.08, Бюл. № 23.
3. Максимович Н. Г., Гершанок В. А., Мещерякова О. Ю., Растегаев А. В. Радиоактивность и инженерно-геологические особенности карстовых массивов // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4; URL: www.science-education.ru/98-4746 (дата обращения: 30.10.2014).
4. Максимович Н. Г., Денисов А. В., Китаева И. В., Мещерякова О. Ю., Хайрулина Е. А. Теоретические основы создания искусственных геохимических барьеров для защиты окружающей среды при освоении природных ресурсов Западного Урала // Региональный конкурс РФФИ-Урал. Результаты научных исследований по инициативным проектам за 2012-2013 гг. Сборник статей. Пермь: ПНЦ УрО РАН, 2013. С. 172-179.
5. Максимович Н. Г., Казакевич С. В. Геоэкологические особенности Полазнинского месторождения нефти // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы регион. науч.-практ. конф. – Пермь, 2004. С. 277-280.
6. Максимович Н. Г., Казакевич С. В., Никифоров В. В. Роль карста в формировании нефтяного загрязнения гидросферы в районе п. Полазна // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь: Перм. ун-т, 2005. С. 290-295.
7. Максимович Н. Г., Казакевич С. В., Никифоров В. В. О роли карста в формировании загрязнения водохранилища // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. междунар. науч.-практ. конф. (Пермь, 28 мая – 1 июня 2007 г.). Пермь: Перм. ун-т, 2007. Т. II. С. 128-131.
8. Максимович Н. Г., Мещерякова О. Ю. Методы борьбы с нефтяным загрязнением на закарстованных берегах водохранилищ // Экология урбанизированных территорий. 2009. № 4. С. 55-58.
9. Максимович Н. Г., Мещерякова О. Ю. Механизм нефтяного загрязнения в районе закарстованных берегов водохранилищ и методы улучшения экологической ситуации // 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.
10. Максимович Н. Г., Мещерякова О. Ю. Гидрохимическая характеристика подземных вод в карстовых районах в условиях нефтяного загрязнения // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: мат. II Всероссийской конференции с международным участием [отв. ред.: д.г.-м.н. Н. А. Харитонова, д.г.-м.н., проф. О. В. Чудаев]. Владивосток: Изд-во Дальнаука. 2015. С. 488-491.
11. Максимович Н. Г., Мещерякова О. Ю., Китаева И. В., Денисов А. В., Воробьева Е. В. Природоохранные технологии на основе геохимических барьеров // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 1. С. 69.
12. 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.
13. Максимович Н. Г., Первова М. С. Особенности нефтяного загрязнения закарстованных территорий Пермского края // Сергеевские чтения. Международный год

планеты Земля: задача геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии: материалы годичной сес. научн. совета РАН по пробл. геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (Москва, 20-21 марта 2008 г.). Москва: ГЕОС, 2008. Вып. 10. С. 224-228.

14. Максимович Н. Г., Хмурчик В. Т. Пробоотборник / Пат. 54398 Рос. Федерация: МПК E 21 B 49/08; заявитель и патентообладатель ФГНУ «Естественнонаучный институт». – № 2005139519/22; заявл. 16.12.05; опубл. 27.06.06, Бюл. № 18 (III ч.). С. 869-870.

15. Максимович Н. Г., Хмурчик В. Т. Консорциум штаммов углеводородокисляющих бактерий *pseudomonas aeruginosa* нд кз-1 и *pseudomonas fluorescens* нд кз-2 в качестве деструктора нефтепродуктов и способ очистки нефтезагрязненных подземных вод / Пат. 2312719 Рос. Федерация: МПК В 09 С 1/10, С 12 N 1/26; заявитель и патентообладатель ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь». №2006104797/13; заявл. 15.02.06; опубл. 20.12.07, Бюл. № 35.

16. Мецзякова О. Ю. Расчет характеристик линзы нефтепродуктов, сформировавшейся на поверхности трещинно-карстовых вод в районе водохранилища // 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.

17. Мецзякова О. Ю. Факторы миграции и трансформации нефти в геологической среде // 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.

18. Мецзякова О. Ю. Оценка экономической эффективности новых методов борьбы с нефтяным загрязнением подземных вод // 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; Естественнонаучн. ин-т. Пермь, 2011. Т. 1. С. 139-143.

19. Мецзякова О. Ю. Оценка степени активности карстовых процессов (на примере Полазненского участка) // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. Вып. 1(10). С. 83-91.

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

21. Мецзякова О. Ю. Карст района Полазненского месторождения нефти Пермского края // Фундаментальные исследования. № 6 (ч. 3). 2013. С. 628-633. URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10000771 (дата обращения: 30.10.2014).

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

23. Мецзякова О. Ю. Сульфатный и соляной карст в условиях техногенного воздействия // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2; URL: <http://www.science-education.ru/129-21791> (дата обращения: 25.09.2015).

24. Мецзякова О. Ю. Зонирование закарстованных территорий по степени устойчивости к нефтяному загрязнению // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием / гл. ред. Р. Г. Ибламинов. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т. 2015. С. 136-139.

25. Мещерякова О. Ю., Максимович Н. Г. Особенности нефтяного загрязнения карстовых районов // 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.
26. Попов Л. Н., Максимович Н. Г. Установка для откачки нефтесодержащей жидкости из скважины / Пат. 81522 Рос. Федерация: МПК E 21 B 43 00; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «Пермский государственный университет». № 2008139538/22; заявл. 07.10.08; опубл. 20.03.09, Бюл. № 8.
27. Соколов Э. М., Максимович Н. Г., Мещерякова О. Ю. Формирование нефтяного загрязнения сульфатного массива в карстовых районах и методы его ликвидации // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2015. № 2. С. 79-89.
28. Хмурчик В. Т., Максимович Н. Г. Борьба с нефтяным загрязнением карста // Антропогенная динамика природной среды: материалы междунар. науч.-практ. конф. Пермь, 2006. Т. 2. С. 375-379.
29. Хмурчик В. Т., Максимович Н. Г., Мещерякова О. Ю. Микроорганизмы, карст, нефть и спелеогенез // Пещеры: сб. науч. тр. Естественнонаучный институт Перм. гос. ун-та. Пермь, 2010. Вып. 33. С. 130-135.
30. Maximovich N. G., Kazakevich S. V., Hmurchik V. T. Development of methods protection of the Kama reservoir from oil pollution // Quality and management of water resources: 3rd Symposium: book of proceedings. St. Petersburg, 2005. P. 362-369.
31. Maximovich N. G., Kazakevitch S. V., Khmurchik V. T., Nikiforov V. V. Oil pollution of the hydrosphere of karst areas // Актуальные проблемы геохимической экологии: материалы V междунар. биогеохим. школы. (Семипалатинск, 8-11 сент. 2005 г.). Семипалатинск, 2005. С. 374-375.
32. 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.
33. Maksimovich N. G., Khmurchik V. T. Remediation of Oil-Polluted Groundwater Aquifers at Karst Region // In: "Engineering Geology for Society and Territory", Vol. 3 "River Basins, Reservoir Sedimentation and Water Resources" (Lollino G. et al. Eds.) Springer, 2015. P. 417-419. SCOPUS WoS (ISBN: 978-331909054-2; 978-331909053-5; DOI: 10.1007/978-3-319-09054-2_86)
34. Maksimovich N. G., Khmurchik V. T. The Influence of Microbiological Processes on Subsurface Waters and Grounds in River Dam Basement // In: "Engineering Geology for Society and Territory", Vol. 6 "Applied Geology for Major Engineering Projects" (Lollino G. et al. Eds.) - Springer, 2015 - P. 563-565. SCOPUS WoS (ISBN: 978-331909060-3; 978-331909059-7 DOI: 10.1007/978-3-319-09060-3_101).
35. Maksimovich, N.G., Khmurchik, V.T., Demenev, A.D. The Role of Microorganisms in Elevating the Turbidity of Dam Seepage Water // Power Technology and Engineering. 2016. 50 (1) – P. 1-3. SCOPUS DOI 10.1007/s10749-016-0651-5.
36. Maksimovich N. G., Khmurchik V. T., Meshcheryakova O. Yu. Bacterial sulfate-reducing process in oil-polluted karst rocks // Goldschmidt Conference Abstracts. Yokohama, 2016. P. 1948. <http://goldschmidt.info/2016/uploads/abstracts/finalPDFs/A-Z.pdf>.
37. Maximovich N. G., Meshcheryakova O. Yu. The influence of gypsum karst on hydrotechnical constructions in Perm region // 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.