

*На правах рукописи*



**Хотяновская Юлия Владимировна**

**ИЗМЕНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В КАРСТОВОМ РАЙОНЕ  
ПРИ ДОБЫЧЕ НЕФТИ**

Специальность 1.6.21. Геоэкология (географические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Пермь, 2023

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

**Научный руководитель:** **Бузмаков Сергей Алексеевич,**  
доктор географических наук, профессор,  
заведующий кафедрой биogeоценологии и охраны  
природы ФГАОУ ВО «Пермский государственный  
национальный исследовательский университет»

**Официальные оппоненты:** **Мячина Ксения Викторовна,**  
доктор географических наук, заведующий отделом  
природно-техногенных геосистем Института степи  
УрО РАН, г. Оренбург

**Скрипко Вадим Валерьевич,**  
кандидат географических наук, заведующий  
кафедрой природопользования и геоэкологии,  
Института географии ФГБОУ ВО «Алтайский  
государственный университет», г. Барнаул

**Ведущая организация:** Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Тюменский государственный  
университет»

Защита диссертации состоится «18» апреля 2024 г. в 13:30 на заседании диссертационного совета 24.1.039.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук по адресу: 656038, г. Барнаул, ул. Молодёжная, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института водных и экологических проблем СО РАН и на сайте [www.iwep.ru](http://www.iwep.ru).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, подписанные и заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 656038, г. Барнаул, ул. Молодёжная, 1, Диссертационный совет, факс: (385-2) 24-03-96, e-mail: [iwep@iwep.ru](mailto:iwep@iwep.ru).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 24.1.039.01,  
доктор географических наук, доцент



Рыбкина И.Д.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования.**

Основными загрязняющими веществами на эксплуатируемых нефтяных месторождениях являются нефть, пластовые воды, попутные газы и продукты сгорания попутного газа. Изменения природной среды выражаются в техногенезе и подразделяются соответственно на механогенез, битумизацию, галогенез и загрязнение атмосферы (Солнцева, 1998). На сегодняшний день существует достаточно много исследований, посвященных проблеме изменения природной среды в районах нефтедобычи (Соромотин, 2010; Гайрабеков, 2012; Dashpurev et al., 2020), но большинство их касается незакарстованных территорий. Наличие водорастворимых пород, полостей, особенных форм рельефа предполагает существенные экологические проблемы при добыче нефти.

Карстовые массивы и особенно такой элемент массивов, как подземные воды среди геологических объектов наиболее уязвимы в условиях техногенного воздействия на территориях недропользования (Костарев, 2015; Мецержакова, 2011).

**Цель исследования** – выявить пространственные изменения природных компонентов (подземных и поверхностных вод, донных осадков, почв, воздуха) в Иренском карстовом районе при добыче нефти.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Проанализировать современные представления об изменении природной среды в период эксплуатации месторождения углеводородов.
2. Разработать методический комплекс для изучения техногенных изменений компонентов природной среды в карстовом районе. Создать репрезентативную базу данных.
3. Рассмотреть карст Иренского района как специфические условия при добыче нефти.
4. Выявить пространственное распределение процессов механогенеза.
5. Определить распространение битумизации в карстовом районе.
6. Изучить галогенез по данным о концентрациях хлоридов, гидрокарбонатов и сульфатов.
7. Установить источники загрязнения атмосферы на территории эксплуатируемого месторождения.
8. Дать характеристику геоэкологической ситуации в верхней части водосборного бассейна р. Ясыл.

**Объект исследования** – карстовый район в условиях нефтедобычи.

**Предмет исследования** – изменение природных компонентов под влиянием техногенных потоков при эксплуатации нефтяного месторождения в условиях карста.

**Теоретической основой** работы послужили научные представления по изучению влияния нефтедобычи на природные комплексы Н.П. Солнцевой, М.А. Глазовской, Ю.И. Пиковского, С.А. Бузмакова, А.В. Соромотина,

А.П. Хаустова, А.А. Оборина и др., положения научного карстоведения и нефтедобычи в условиях карста по В.Н. Дублянскому, Г.А. Максимовичу, К.А. Горбуновой, В.Н. Катаеву и др.

**Фактический материал и методы исследования.**

Для проведения исследования нами был разработан комплекс методов изучения изменения природной среды в карстовом районе, включающий изучение основных видов воздействия на территорию нефтепромысла (рис. 1).



**Рис. 1. Комплекс методов исследования изменений природной среды при нефтедобыче в условиях карста**

Материалами исследования послужили результаты комплексных экологических обследований территории нефтяного месторождения в бассейне реки Ясыл (Пермский край) в 2016–2018 гг. Полевые исследования включали разносезонную сплошную аэрофотосъемку с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА), бурение исследовательских скважин, отбор подземных и поверхностных вод, донных осадков, определение состава атмосферного воздуха, газогеохимическую съёмку, отбор водных и почвенных проб для биоиндикационного исследования.

Аэрофотосъемка проводилась БПЛА модели Supercam S250-F. Подготовка картографических материалов и дешифрирование ортофотопланов осуществлялось в среде ArcGIS 10.5, основой послужили ортофотопланы масштаба 1:2000, разрешения 10 см/пикс, плановая точность 2 м. Дешифрирование основано на визуальных признаках объектов.

Местоположение всех площадок, на которых проводились отборы (замеры) приведены на рисунке 2. В таблице 1 представлен объем собранного в ходе исследования материала.

Результаты исследования включены в базу данных «Техногенная трансформация природной среды в карстовом районе» (RU 2021621102 от 21.04.2021).

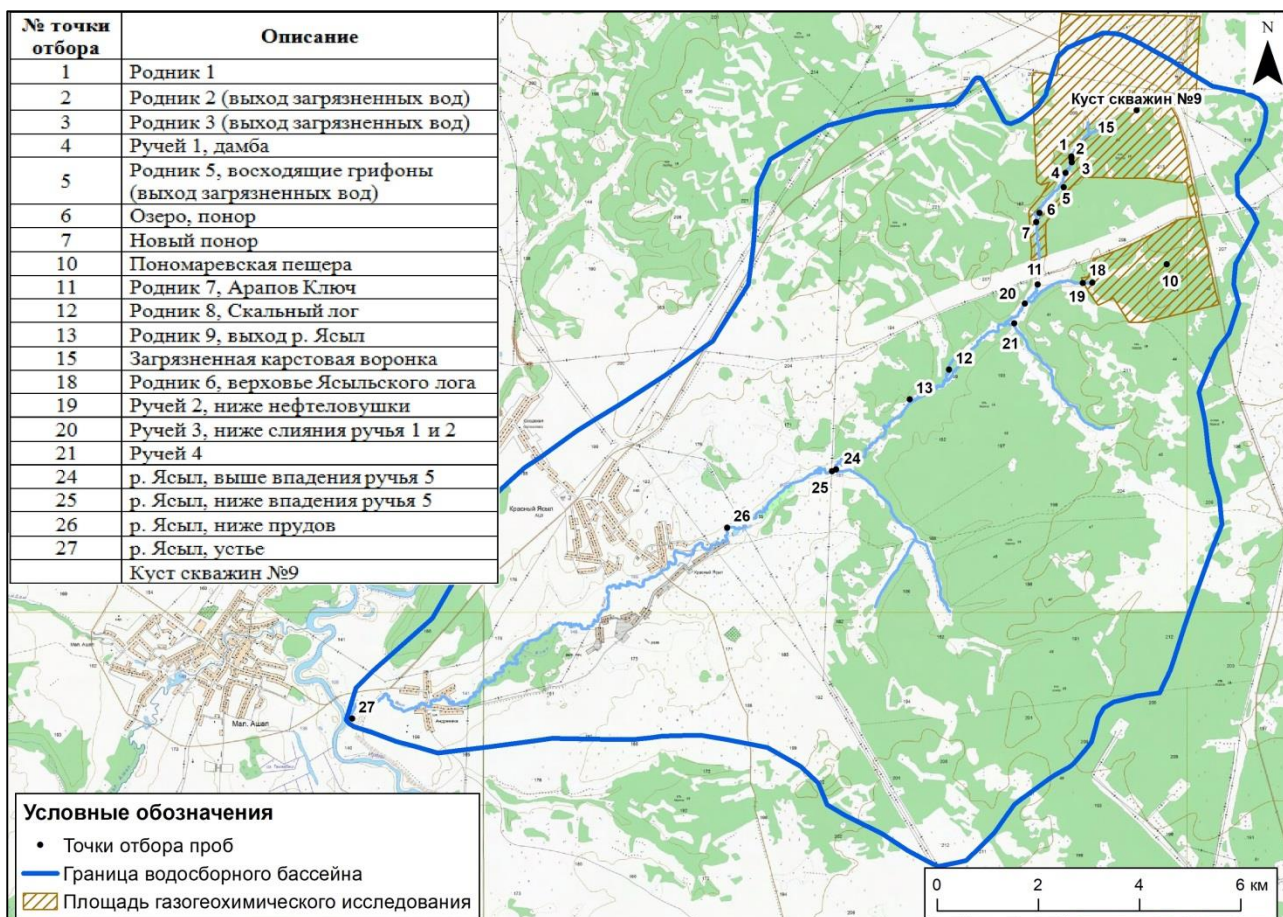


Рис. 2. Бассейн р. Ясыл и места отбора проб

Таблица 1

**Объем собранного материала**

| Отобранные пробы   | 2016               | 2017                                     | 2018                   | Итого |
|--|--------------------|--|------------------------|-------|
| Поверхностные и подземные воды   | 23                 | 50                                       | 48                     | 121   |
| Донные осадки  | 11                 | 19                                       | 18                     | 48    |
| Почвы  | 12                 | 14                                       | 18                     | 44    |
| Атмосферный воздух<br>(точки отбора и кол-во показателей)  | 7 (8)              | 6 (6)                                    | 3 (6)<br>(май, август) | 16    |
| Газогеохимия (число пикетов)<br>(CH <sub>4</sub> , O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S – 2016 г.)<br>(CH <sub>4</sub> , УВГ, ЛОС, CO <sub>2</sub> – 2017-2018 гг.) | 413<br>(грунтовый) | 103<br>(почвенный)<br>191<br>(грунтовый) | 234<br>(грунтовый)     | 941   |
| Воды для микробиологического исследования  | 9                  | 10                                       | 9                      | 28    |
| Почвы для микробиологического исследования   | 16                 | -  | -                      | 16    |
| Исследовательские (геологические) скважины (117 скважин были пройдены ранее «Пермгипроводхоз»)   | 9                  | -  | -                      | 126   |

**Научная новизна**

Изучены пространственные изменения природных компонентов в Иренском карстовом районе (на примере водосборного бассейна р. Ясыл) в условиях нефтедобычи, получены данные об аккумуляции углеводородов, формировании и размещении первичных и вторичных источников загрязнения.

Впервые проведено сплошное обследование с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА) для выявления техногенных проявлений, что помогло определить количество и площадь участков, подверженных процессам механогенеза, битумизации, галогенеза в пределах водосборного бассейна.

Для Иренского карстового района впервые в качестве биоиндикаторов битумизации и галогенеза использованы трофические группы углеводородокисляющих и галофильных микроорганизмов.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Получила развитие теория техногенных изменений природной среды. Выявлены закономерности миграции, аккумуляции углеводородов и солей в условиях карста при добыче нефти. Рассчитана потенциальная емкость карстового массива к аккумуляции углеводородов. Предложенный методический комплекс и полученные результаты имеют перспективы использования при изучении техногенеза и обеспечения экологической безопасности в сульфатных и карбонатно-сульфатных карстовых районах. Изученные последствия могут учитываться при использовании карстовых полостей в качестве хранилищ углеводородов.

Результаты исследования переданы нефтедобывающему предприятию при выполнении научных услуг, включены в базу данных «Техногенная трансформация природной среды в карстовом районе» (RU 2021621102 от 21.04.2021). Часть результатов исследования получена при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта №20-45-596018. Материалы диссертации используются автором в учебных курсах дисциплин «Основы экологии», «Ресурсоведение», «Введение в специальность», а также при написании курсовых и выпускных квалификационных работ бакалаврами направления «Экология и природопользование».

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Наличие полостей в карстовом массиве определяет потенциальную возможность длительного депонирования значительных объемов углеводородов.
2. Битумизация в карстовом районе носит хронический характер, вызвана поступлением и миграцией углеводородов в водных объектах, донных осадках, почвах, а также подтверждается наличием углеводородокисляющих микроорганизмов.
3. Проявление природного и техногенного галогенеза находит выражение в увеличении содержания хлоридов и гидрокарбонатов в пробах воды и обуславливает формирование сообществ галофильных микроорганизмов.
4. Выявленные пространственные закономерности механогенеза, битумизации и галогенеза подтверждаются результатами газогеохимической съемки и формируют геоэкологическую ситуацию в верхней части водосборного бассейна р. Ясыл.

**Личный вклад автора.** Автор принимала личное участие в планировании исследования, полевых обследованиях, производила отбор проб, сбор, обобщение, анализ данных, картографическую обработку материала, создании базы данных «Техногенная трансформация природной среды в карстовом районе». Подготовка к печати статей, отражающих результаты исследований, осуществлялась как самостоятельно, так и при участии соавторов.

**Степень достоверности полученных результатов.** Обоснованность научных результатов обеспечивается достаточным количеством репрезентативных данных, применением общепринятых инструментальных методов, сплошным обследованием при помощи аэрофотосъемки, проведением анализов в аккредитованных и специализированных лабораториях, использованием общепризнанных геоинформационных систем.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Тема диссертационного исследования и его содержание соответствуют требованиям паспорта специальности ВАК 1.6.21. (25.00.36) – Геоэкология (географические науки) по следующим пунктам: 5. Природная среда и индикаторы ее изменения под влиянием естественных природных процессов и хозяйственной деятельности человека (химическое и радиоактивное загрязнение биоты, почв, пород, поверхностных и подземных вод), наведенных физических полей, изменения состояния криолитозоны. 14. Научные основы организации геоэкологического мониторинга природно-технических систем и обеспечение их экологической безопасности, разработка средств контроля состояния окружающей среды.

**Апробация работы.** Основные положения были изложены на конференциях различного уровня: Международная школа-семинар молодых ученых памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка «Антропогенная трансформация природной среды» (Пермь, 2017 г., 2018 г., 2023 г.), Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы освоения месторождений нефти и газа приарктических территорий России» (Архангельск, 27–28 сентября 2018 г.), VII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов» (Пермь, 30 мая – 2 июня 2019 г.), Всероссийская школа-семинар «Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды» (Пермь, 2021 г., 2023 г.), EGU General Assembly 2022 (Vienna, Austria & Online, 23-27 мая 2022 г.).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 18 работ, 2 из них – в изданиях, рекомендованных ВАК, 3 – в изданиях, входящих в международную реферативную базу данных Scopus (2 из них в журналах Q1-Q2), зарегистрирована база данных «Техногенная трансформация природной среды в карстовом районе» (RU 2021621102 от 21.04.2021).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Список литературы состоит из 155 источников. Работа изложена на 190 страницах, включая 6 приложений, 28 таблиц и 73 рисунка.

Во **введении** обозначена актуальность исследования, цель, задачи, объект и предмет исследования, методы исследования, теоретическая и практическая значимость, личный вклад автора, апробация. В **главе 1** приводится литературный обзор по основным видам воздействия на природную среду в районах нефтедобычи. В **главе 2** содержится информация о собранном материале и применяемых в работе методах, а также географическая характеристика района исследования. В **главе 3**

рассматриваются изменения природной среды в бассейне р. Ясыл через процессы механогенеза, битумизации, галогенеза, загрязнения воздуха, также приведены результаты исследований карста, данные по биоиндикации состояния природной среды, карта геоэкологической ситуации. Основные выводы представлены в **заключении**.

**Благодарности.** Автор выражает признательность научному руководителю д.г.н., профессору **Сергею Алексеевичу Бузмакову**. Неоценимую помощь в полевых работах, сборе материала, консультации оказали сотрудники кафедры биогеоценологии и охраны природы ПГНИУ, заместитель директора по научной работе ИЭГМ УрО РАН, д.б.н. **Д.О. Егорова**.

## **ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

**1. Наличие полостей в карстовом массиве определяет потенциальную возможность длительного депонирования значительных объемов углеводородов.**

В карстологическом районировании территория исследования отнесена к Ирэнскому району преимущественно гипсового и карбонатно-гипсового карста (*Горбунова и др., 1992*). Территория характеризуется широким набором поверхностных, переходных и подземных форм карста. Плотность воронок в пределах Ясылского карстового поля может считаться наивысшей в Пермском крае (в среднем около 400 форм/км<sup>2</sup>) (*Катаев, Печенкина, 2000*). В обнажениях развиты карры, закарстованные трещины, каналы.

Дно долины р. Ясыл, характеризуется залеганием гипсов и ангидритов под песчано-глинистыми отложениями ниже уровня минерализованных подземных вод. На склонах долины р. Ясыл и суходолов, где карстующиеся сульфатные породы перекрыты элювиально-делювиальными и карстовыми отложениями мощностью до 25 м, есть условия для образования крупных подземных полостей, а на поверхности – провалов (*Максимович и др., 2006*). Нефтедобыча в условиях карста может приводить к депонированию углеводородов в карсте. Важной геоэкологической задачей является количественная оценка их возможных объемов.

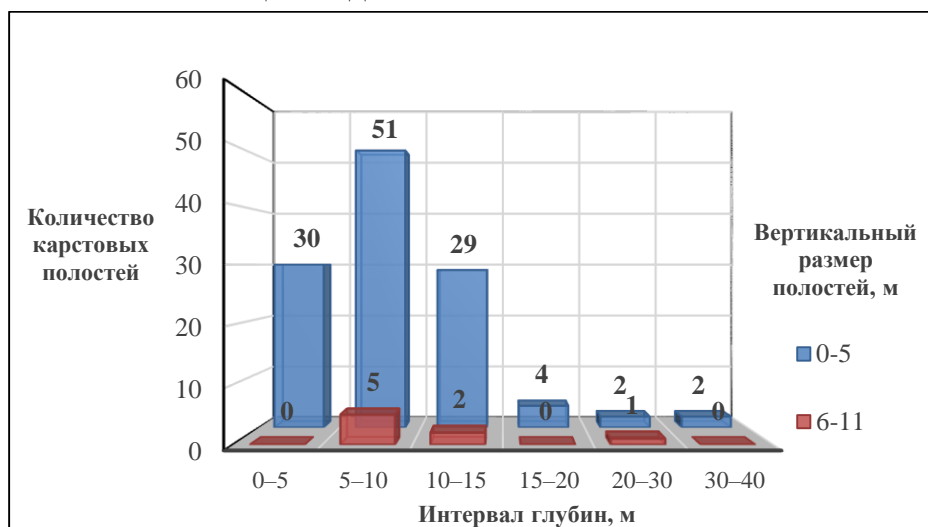
Карстовые полости в пределах Ясылского карстового лога вскрывались буровыми скважинами. Из 126 проанализированных скважин, пройденных институтом «Пермгипрпроводхоз» и пробуренных в процессе исследований в 2016 г. (под руководством к.г.-м.н., доцента ПГНИУ Ю.А. Килина), 71 скважина вскрыла 126 карстовых полостей – открытых, частично или полностью заполненных грунтовым материалом различного гранулометрического состава.

Большинство вскрытых полостей (118 из 126) имеют вертикальные размеры от 0,3 до 5 м и залегают на глубинах до 40 м (рис. 3). В интервале глубин до 15 м встречено наибольшее количество карстовых полостей.

Буровыми работами были вскрыты 44 карстовые полости без заполнителя, что составляет более 30% от общего количества обнаруженных полостей. Максимальное количество карстовых полостей без заполнителя (открытых) находится в интервале глубин до 15 м. В результате их гидрогеологической активности происходит



образование провалов и воронок. Открытые карстовые полости часто бывают обводнены, особенно в многоводные периоды года. Постоянное заполнение водой имеют полости зон локализации подземного стока.



**Рис. 3. Распределение карстовых полостей по вертикальным параметрам в зависимости от глубины залегания**

Карстоведами предложен следующий метод вычисления объема карстовых полостей, выявленных в результате бурения скважин. Предлагается рассматривать полость как полусферу и вычислять объем полости с помощью формулы объема полусферы (Адерхольд, 2010):

$$V_{\text{полусферы}} = 4/3 \pi r^3, \text{ где } r - \text{высота полости.}$$

По имеющимся данным 118 полостей имели вертикальные размеры (h) до 5 м, тогда

$$V_{\text{полусферы}} = 4/3 * 3,14 * 5^3 \approx 523 \text{ м}^3 - \text{объем одной полости}$$

$$523 \text{ м}^3 * 118 \text{ шт.} \approx \mathbf{62\ 000 \text{ м}^3}$$

Остальные 8 полостей имеют высоты до 11 м, тогда

$$V_{\text{полусферы}} = 4/3 * 3,14 * 11^3 \approx 5\ 572 \text{ м}^3 - \text{объем одной полости}$$

$$5\ 572 \text{ м}^3 * 8 \text{ шт.} \approx \mathbf{45\ 000 \text{ м}^3}$$

Таким образом, максимальный объем всех выявленных карстовых полостей на площади 1 км<sup>2</sup>: 62 000 м<sup>3</sup> + 45 000 м<sup>3</sup> ≈ **107 000 м<sup>3</sup>**.

Площадь водосборного бассейна ручья Арапов Ключ 3,83 км<sup>2</sup>, тогда примерная потенциальная емкость карстового массива может составлять ≈ **410 000 м<sup>3</sup>**.

Средняя плотность нефти на Кокуйском месторождении 0,860 г/см<sup>3</sup> (860 кг/м<sup>3</sup>) (Нефти, газы и битумоиды Пермского Прикамья, 1977), таким образом, в карстовом массиве может разместиться масса нефти порядка 350 000 тонн.

Извлечь какую-то часть нефти (растворов с примесью нефти) из этих полостей возможно, но из-за ее химических особенностей (адгезия к породам) сделать это весьма непросто. Таким образом, наличие карстовых полостей при нефтедобыче может привести к аккумуляции в них нефти и длительным экологическим последствиям.

**2. Битумизация в карстовом районе носит хронический характер, вызвана миграцией углеводородов в водных объектах, донных осадках, почвах, а также подтверждается наличием углеводородокисляющих микроорганизмов**

*Дешифрирование последствий битумизации на ортофотоплане.* Проявления битумизации идентифицировались по наличию черных пятен на поверхности почвы или воды (рис. 4 и рис. 5), которые предположительно соответствовали разливам нефти на открытых участках. По большей части выявленных случаев разливов проводилась дополнительная верификация с помощью архива результатов анализов почв, вод и фотографий, сделанных в ходе полевых обследований.

Путем дешифрирования было идентифицировано 5 участков проявлений битумизации общей площадью 1 270 м<sup>2</sup>, все они находятся в верхней части водосбора р. Ясыл и их расположение позволяет говорить о взаимосвязи с нефтепромысловыми объектами.



**Рис. 4. Признаки битумизации и галогенеза пруда-нефтеловушки (ПП 18)  
Аэрофотосъемка проведена 29.04.2016 г.**



**Рис. 5. Нефтяное проявление на границе куста скважин № 9  
(Фото 10.05.2018 г.). Аэрофотосъемка проведена 25.05.2018 г.**

*Результаты химического анализа.* В таблице 1 представлена наиболее значимая часть данных по содержанию нефтепродуктов (НП) в пробах подземных и поверхностных вод за весь период наблюдений. В большинстве точек отбора высокие концентрации НП фиксировались в фазу весеннего половодья, что объясняется подъемом уровня вод и как следствие вымыванием углеводородов из карстовых полостей и загрязненных пойменных почв. Территориально большинство загрязненных проб было отобрано в верховьях р. Ясыл, относительно недалеко от куста скважин №9. В фазу летней межени (2016 г.) так же фиксировались повышенные концентрации, в двух пробах (ПП2 и 3) отмечалось крайне высокое содержание (11 400 и 64 000 ПДКр.х. соответственно), в 2017 г. лишь в одной пробе (ПП18) было небольшое превышение (1,6 ПДКр.х.), в 2018 г. практически каждая проба превышала норматив от 1 до 166 ПДКр.х.

В ручье Пономаревской пещеры (ПП10) концентрации НП во все фазы водного режима 2018 г. значительно превышали нормативы (166-748 ПДК р.х.). Нефтяное загрязнение воды в этом ручье устанавливалось и ранее, в 2014 г. содержание НП составило 1348 мг/дм<sup>3</sup> (26 960 ПДКр.х.). С 1999 года периодически при посещении пещеры визуально фиксировались загрязнения нефтепродуктами вод ручья, и отмечалась сильная загазованность (*Шамгунова, 2019*).

В таблице 2 содержатся данные по концентрациям НП в донных осадках и почвах бассейна р. Ясыл. В ряде проб (родники 2 и 3) содержание НП в донных осадках оказалось очень высоким, в пробах из Пономаревской пещеры и родника 6 (2018 г.) – аномально высоким, это позволяет считать их постоянными вторичными источниками загрязнения поверхностных вод. Согласно проведенным анализам, практически на всех обследуемых площадках отмечено повышенное содержание НП в донных осадках.

Для оценки загрязненности почвы принята классификация показателей уровня загрязнения (*Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами..., 1993*) по концентрации НП в почве. По результатам исследований в 2016 г. лишь на площадке у родника 3 обнаружен очень высокий уровень загрязнения с содержанием НП 8 886 мг/кг. Во всех остальных пробах содержание НП находится в пределах допустимого уровня. В 2018 г. в большей части проб обнаружено содержание НП. Высокий уровень загрязнения отмечен – у родника 3, очень высокий уровень – у родника 6 и у куста скважин №9 (превышает 100 000 мг/кг). Высокие концентрации свидетельствуют о продолжающихся поступлениях углеводородов. Таким образом, можно говорить о формировании ореолов углеводородного загрязнения в верховьях р. Ясыл.

Таблица 1

## Содержание нефтепродуктов и нефтеокисляющих микроорганизмов в пробах подземных и поверхностных вод

| № ПП | Наименование площадки | Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup> в пробах воды |             |             |            |            |       |             |             |            | Микроорганизмы, КОЕ/мл      |                             |                             |
|------|-----------------------|---|-------------|-------------|------------|------------|-------|-------------|-------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|      |                       | 2016  |             |             | 2017       |            |       | 2018        |             |            | 2016                        | 2017                        | 2018                        |
|      |                       | З.М.  | В.П.        | Л.М.        | З.М.       | В.П.       | Л.М.  | З.М.        | В.П.        | Л.М.       | нефтеокисляющие             |                             |                             |
| ПП1  | Родник 1              | <0,05   | 0,51        | 0,18        | 0,06       | <0,04      | <0,04 | <0,04       | 0,64        | 0,14       | (1,6±0,2) x 10 <sup>2</sup> | (3,8±0,2) x 10 <sup>3</sup> | (2,7±0,1) x 10 <sup>5</sup> |
| ПП2  | Родник 2              | <b>5,53</b>                                     | <b>1640</b> | <b>570</b>  | <0,04      | <0,04      | <0,04 | 0,365       | 0,43        | 0,05       | (2,1±0,3) x 10 <sup>3</sup> | (4,1±0,1) x 10 <sup>4</sup> | (1,2±0,2) x 10 <sup>5</sup> |
| ПП3  | Родник 3              | <b>3,62</b>                                     | <b>2360</b> | <b>3200</b> | 0,09       | <0,04      | 0,08  | 0,47        | 0,29        | <0,04      | (3,3±0,4) x 10 <sup>4</sup> | (3,1±0,1) x 10 <sup>4</sup> | (2,6±0,2) x 10 <sup>4</sup> |
| ПП5  | Родник 5              | н.д.  | <b>16,6</b> | <0,05       | <0,04      | <0,04      | <0,04 | 0,043       | 0,39        | <0,04      | (3,1±0,5) x 10 <sup>2</sup> | н.д.                        | н.д.                        |
| ПП6  | Озеро, попор          | н.д.  | <0,05       | 0,07        | <0,04      | <0,04      | <0,04 | <0,04       | 0,21        | 0,11       | н.д.                        | (8,5±0,2) x 10 <sup>4</sup> | (1,2±0,2) x 10 <sup>4</sup> |
| ПП10 | Пономар. пещера       | н.д.  | <b>3,04</b> | <0,05       | 0,08       | 0,13       | <0,04 | <b>36,7</b> | <b>37,4</b> | <b>8,3</b> | (1,2±0,4) x 10 <sup>3</sup> | (8,8±0,1) x 10 <sup>3</sup> | (8,6±0,2) x 10 <sup>3</sup> |
| ПП11 | Родник 7              | н.д.  | 0,88        | <0,05       | н.д.       | <0,04      | <0,04 | <0,04       | 0,07        | 0,56       | (1,1±0,2) x 10 <sup>2</sup> | н.д.                        | (1,2±0,1) x 10 <sup>5</sup> |
| ПП12 | Родник 8              | н.д.  | <b>1,25</b> | <0,05       | н.д.       | <0,04      | <0,04 | н.д.        | 0,08        | 0,23       | (2,6±0,1) x 10 <sup>3</sup> | (1,9±0,2) x 10 <sup>5</sup> | (1,3±0,1) x 10 <sup>3</sup> |
| ПП13 | Родник 9              | н.д.  | <0,05       | <0,05       | <0,04      | 0,04       | <0,04 | 0,192       | 0,34        | 0,56       | (4,4±0,3) x 10 <sup>3</sup> | (1,4±0,2) x 10 <sup>4</sup> | (1,3±0,2) x 10 <sup>4</sup> |
| ПП18 | Родник 6              | н.д.  | н.д.        | н.д.        | <b>3,9</b> | <b>3,9</b> | <0,04 | 0,80        | <b>8,5</b>  | 0,27       | н.д.                        | (3,6±0,1) x 10 <sup>3</sup> | (1,6±0,2) x 10 <sup>3</sup> |

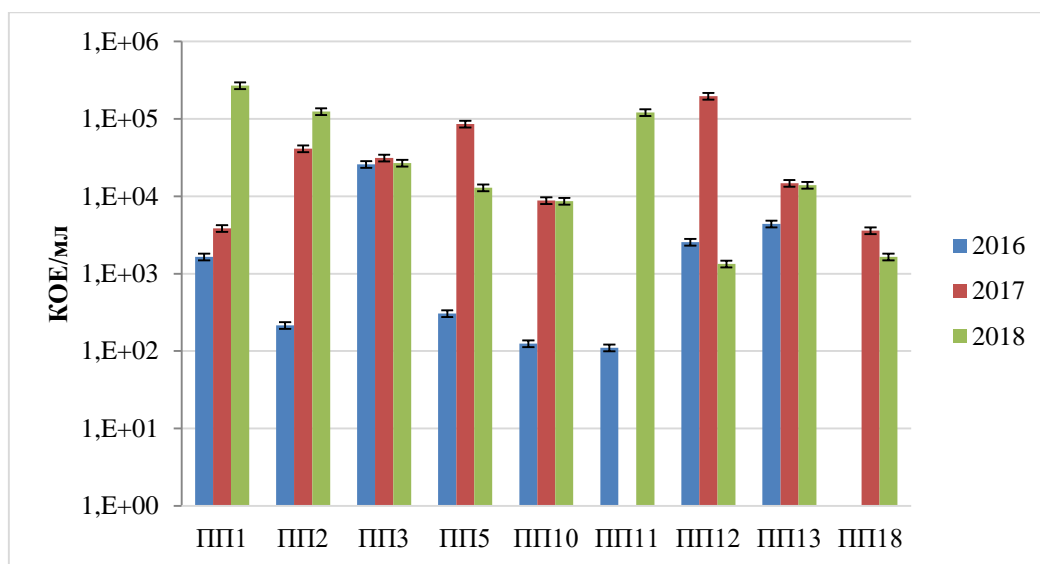
\*З.М. – зимняя межень, В.П. – весеннее половодье, Л.М. – летняя межень, н.д. – нет данных

Таблица 2

## Содержание нефтепродуктов и нефтеокисляющих микроорганизмов в пробах почв и донных осадков

| № ПП | Наименование площадки             | Нефтепродукты в донных осадках, мг/кг |              |               | Нефтепродукты в почве, мг/кг |              |              | Микроорганизмы, КОЕ/гр почвы |
|------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------|---------------|------------------------------|--------------|--------------|------------------------------|
|      |                                   | 2016                                  | 2017         | 2018          | 2016                         | 2017         | 2018         | 2016                         |
| ПП1  | Родник 1                          | 63                                    | 71           | 171           | <50                          | 62           | 63           | 1.6±0.9 x 10 <sup>6</sup>    |
| ПП2  | Родник 2                          | <b>7 527</b>                          | <b>3 834</b> | <b>2 048</b>  | 58                           | <b>2 566</b> | 573          | 1.8±0.1 x 10 <sup>7</sup>    |
| ПП3  | Родник 3                          | <b>10 653</b>                         | <b>5 729</b> | <b>7 662</b>  | <b>8 886</b>                 | <b>2 272</b> | <b>3 388</b> | 2.1±0.3 x 10 <sup>7</sup>    |
| ПП4  | Ручей 1, дамба                    | 61                                    | 601          | 298           | <50                          | 154          | 287          | 7.0±0.4 x 10 <sup>5</sup>    |
| ПП5  | Родник 5, восходящие грифоны      | 101                                   | 59           | <50           | <50                          | <50          | 69           | 2.4±0.2 x 10 <sup>6</sup>    |
| ПП6  | Озеро, попор                      | 74                                    | 496          | 181           | <50                          | <50          | <50          | 2.3±0.1 x 10 <sup>6</sup>    |
| ПП7  | Новый попор                       | <b>627</b>                            | 52           | <50           | <50                          | 52           | <50          | 5.6±0.3 x 10 <sup>6</sup>    |
| ПП10 | Пономаревская пещера              | <b>9 337</b>                          | н.д.         | <b>54 872</b> | <50                          | <50          | н.д.         | 3.8±0.2 x 10 <sup>6</sup>    |
| ПП11 | Родник 7, Арапов Ключ             | 104                                   | 102          | 74            | <50                          | 429          | <50          | 2.8±0.2 x 10 <sup>6</sup>    |
| ПП12 | Родник 8, Скальный лог            | <50                                   | <50          | <50           | <50                          | 447          | <50          | 3.6±0.2 x 10 <sup>5</sup>    |
| ПП13 | Родник 9, выход р. Ясыл           | 92                                    | 72           | 57            | <50                          | 97           | <50          | 4.0±0.2 x 10 <sup>6</sup>    |
| ПП15 | Загрязненная карстовая воронка    | н.д.                                  | <b>2 665</b> | <50           | 181                          | <50          | 58           | 3.0±0.3 x 10 <sup>6</sup>    |
| ПП18 | Родник 6, верховье ясылского лога | н.д.                                  | 557          | <b>33 238</b> | н.д.                         | 748          | <b>8 380</b> | н.д.                         |
| ПП19 | Ручей 2, ниже нефтеловушки        | н.д.                                  | 276          | 101           | н.д.                         | 156          | <b>1 414</b> | н.д.                         |
| ПП20 | Ручей 3, ниже слияния ручья 1 и 2 | н.д.                                  | 194          | 236           | н.д.                         | н.д.         | <50          | н.д.                         |
| ПП25 | р. Ясыл, ниже впад. ручья 5       | н.д.                                  | 281          | 295           | н.д.                         | н.д.         | н.д.         | н.д.                         |

*Результаты микробиологического анализа.* Пробы воды на определение состояния микробного сообщества отбирались в 2016–2018 гг. Анализ проводился в лаборатории микробиологии техногенных экосистем Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН под руководством д.б.н. Д.О. Егоровой. Динамика изменения численности нефтеокисляющих микроорганизмов в пробах подземных вод за 2016–2018 гг. представлена на рисунке 6.



**Рис. 6.** Динамика изменения численности микроорганизмов-нефтедеструкторов (КОЕ/мл) в образцах подземных вод, выпадающих в р. Ясыл в 2016–2018 гг.

Установлено, что в образцах из родников (ПП 1, 2, 11) происходит повышение численности нефтеокисляющих микроорганизмов, что свидетельствует о наличии углеводов. На большей части точек можно отметить увеличение численности нефтеокисляющих микроорганизмов в 2017 г. и сохранение их примерно на том же уровне в 2018 г. В целом, по исследованному району наблюдается повышение за три года численности данной эколого-трофической группы микроорганизмов в 15 раз (с  $4.4 \times 10^3$  КОЕ/мл в 2016 г. до  $6.4 \times 10^4$  КОЕ/мл в 2018 г.). Анализ полученных результатов позволяет предположить, что поступление нефтепродуктов в подземные воды исследуемого района увеличивалось, что повлияло на микробиоценоз.

Состояние микробного сообщества почв района исследования было оценено в 2016 г. Практически во всех образцах почвы обнаружено превышение фоновых показателей по количеству нефтеокисляющих микроорганизмов.

Таким образом, битумизация охватила карстовые полости, родники, ручьи (притоки) реки Ясыл, а также донные осадки и почвы. Во временном отношении концентрации НП возрастают в периоды половодья. В пространственном отношении содержание НП постепенно снижается в направлении устья реки.

### 3. Проявление природного и техногенного галогенеза находит выражение в увеличении содержания хлоридов и гидрокарбонатов в пробах воды и обуславливает формирование сообществ галофильных микроорганизмов.

*Дешифрирование последствий галогенеза на ортофотоплане.* На исследуемой территории нами выявлено 3 типа объектов, ассоциируемых с галогенезом. Помутнение воды и смена цвета водоёма на голубовато-белесый (рис. 7) обусловлены большим количеством нанометровых дисперсных частиц гидрированных сульфатов (растворение гипса) в воде (Плотникова, 2019). Смена цвета водоёма на зелёно-жёлтый (рис. 7), предположительно объясняется интенсивным разрастанием галофильной водной растительности. Скопление белых проявлений на поверхности (рис. 7) рассматривалось как солепроявление. Большая часть выявленных объектов также была верифицирована с помощью результатов анализов почв, вод и фотографий, сделанных в ходе полевых обследований.

Путем дешифрирования ортофотоплана был идентифицирован 21 участок (16 – в верхней части водосбора, 5 – в средней) с проявлениями галогенеза общей площадью 10 142 м<sup>2</sup>.

Пространственное распределение выявленных участков, так же, как и в случае с битумизацией, позволяет говорить о взаимосвязи нефтепромысловых объектов и распространения процессов галогенеза. Большая часть участков, на которых отмечены последствия битумизации и галогенеза, выявлена в верхней части водосбора р. Ясыл, меньшая – в средней. В нижней части водосбора таких участков не отмечено.



Рис. 7. Признаки галогенеза: смена цвета водоёмов на голубовато-белёсый с помутнением (Родник 2 – ПП2 (27.04.2017 г.)), зелёно-жёлтый (Родник 3 – ПП3 (02.06.2017 г.)), пятна солепроявлений на поверхности земли (южнее ПП3). Аэрофотосъемка проведена 29.09.2016 г.

*Результаты химического анализа.* Воды исследуемого участка оказались соленоватыми и солеными, очень жесткими (в среднем 30,1), что обусловлено

высоким содержанием ионов кальция, по рН преимущественно нейтральные (в среднем 7,3), по химическому составу сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевого и сульфатно-гидрокарбонатно-кальциево-хлоридного состава.

Говоря о техногенном галогенезе при нефтедобыче интерес в первую очередь представляют хлориды, сульфаты, карбонаты, которые в больших количествах содержатся в попутно извлекаемых высокоминерализованных пластовых водах (Глазовская, 1988, Солнцева, 1998).

По фондовым данным нефтедобывающего предприятия естественное фоновое содержание (на 1972 г.) хлоридов в районе исследования составляло **9,6 мг/дм<sup>3</sup>**, сульфатов – **1310,0 мг/дм<sup>3</sup>**, гидрокарбонатов – **207,4 мг/дм<sup>3</sup>**.

Рассматривая содержание хлорид-аниона за весь период наблюдений, можно отметить, что его концентрация варьирует до 72,7 мг/дм<sup>3</sup>, в большинстве проб она превышает фоновый уровень (рис. 8). Точки с максимальными концентрациями характерны для верховьев лога Арапов Ключ (родники с выходом загрязненных вод) и Пономаревской пещеры. Из всех анионов хлориды обладают наибольшей миграционной способностью, что объясняется их хорошей растворимостью, слабо выраженной способностью к сорбции взвешенными веществами и потреблением водными организмами. Концентрации хлоридов заметно снижаются к среднему течению реки (ниже ПП 11).

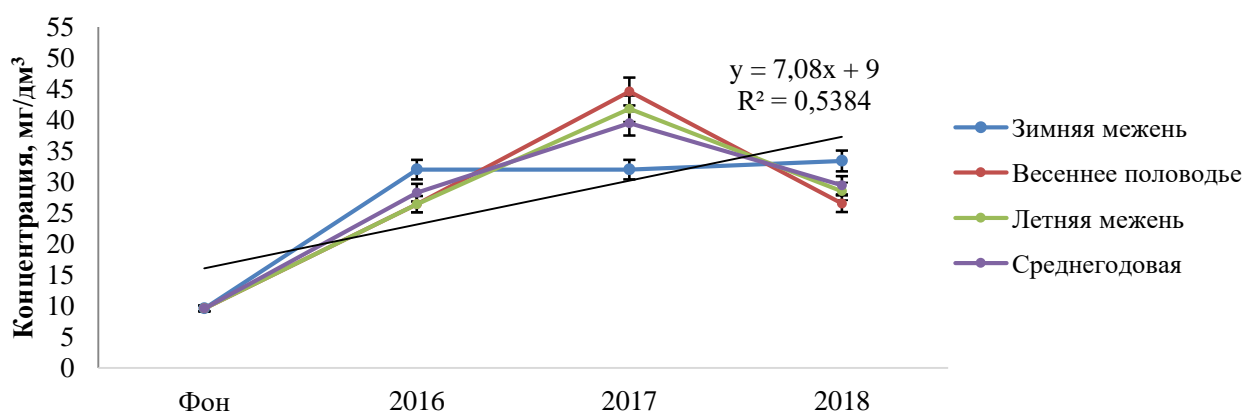


Рис. 8. Средние концентрации хлорид-аниона по гидрологическим сезонам, мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация гидрокарбонат-аниона в течение трех лет наблюдений менялась от 97,6 до 478,2 мг/дм<sup>3</sup>. На рисунке 9 представлены графики среднего содержания гидрокарбонатов по сезонам за весь период наблюдений, линия тренда, как и в случае с хлоридами, показывает стабильный среднегодовой рост. В большинстве точек концентрация увеличивалась летом, максимальная фиксировалась в Пономаревской пещере в июле. Основным источником гидрокарбонатных ионов в поверхностных водах являются процессы химического выветривания и растворения карбонатных пород, гидрокарбонатные ионы могут поступать с атмосферными осадками и грунтовыми водами, а также могут быть обусловлены нефтедобычей.

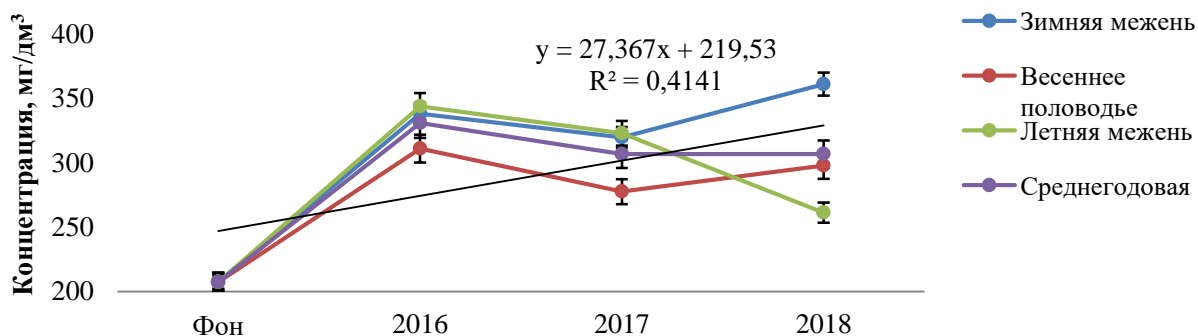


Рис. 9. Средние концентрации гидрокарбонат-аниона по сезонам, мг/дм<sup>3</sup>

Содержание сульфат-аниона можно оценить, как стабильное, по годам значительных изменений не обнаружено (рис. 10). Ежегодно максимальные концентрации фиксировались в роднике 7 (ПП 11).

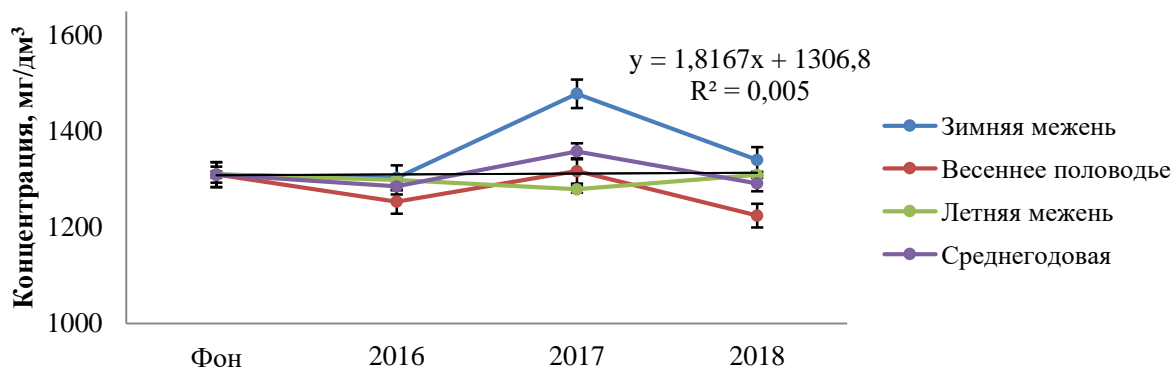


Рис. 10. Средние концентрации сульфат-аниона по сезонам, мг/дм<sup>3</sup>

*Галофильные микроорганизмы в бассейне р. Ясыл.* В 2017 году был проведен анализ микробоценоза подземных вод. К концу весенне-летнего периода в трех точках выявлено присутствие галофильных микроорганизмов. В точках, где они были обнаружены, зафиксированы концентрации хлоридов, превышающие фоновые значения (родники 3 и 7), а также незначительные концентрации НП. В 2018 г. в подземных водах было также установлено их присутствие. При этом, количество точек с галофилами возросло. Однако их средняя численность существенно не отличается от результатов предыдущего года. По-прежнему галофилы были найдены в роднике 3 (верховье лога Арапов Ключ), в роднике 8 (ПП 12, Скальный лог). Максимальное их число было обнаружено в верхнем течении реки (родник 5, ПП 5) (рис. 11).

Природно-техногенные процессы галогенеза выражаются в увеличении содержания хлоридов и гидрокарбонатов в водных объектах, а также способствуют формированию сообществ галофильных микроорганизмов.



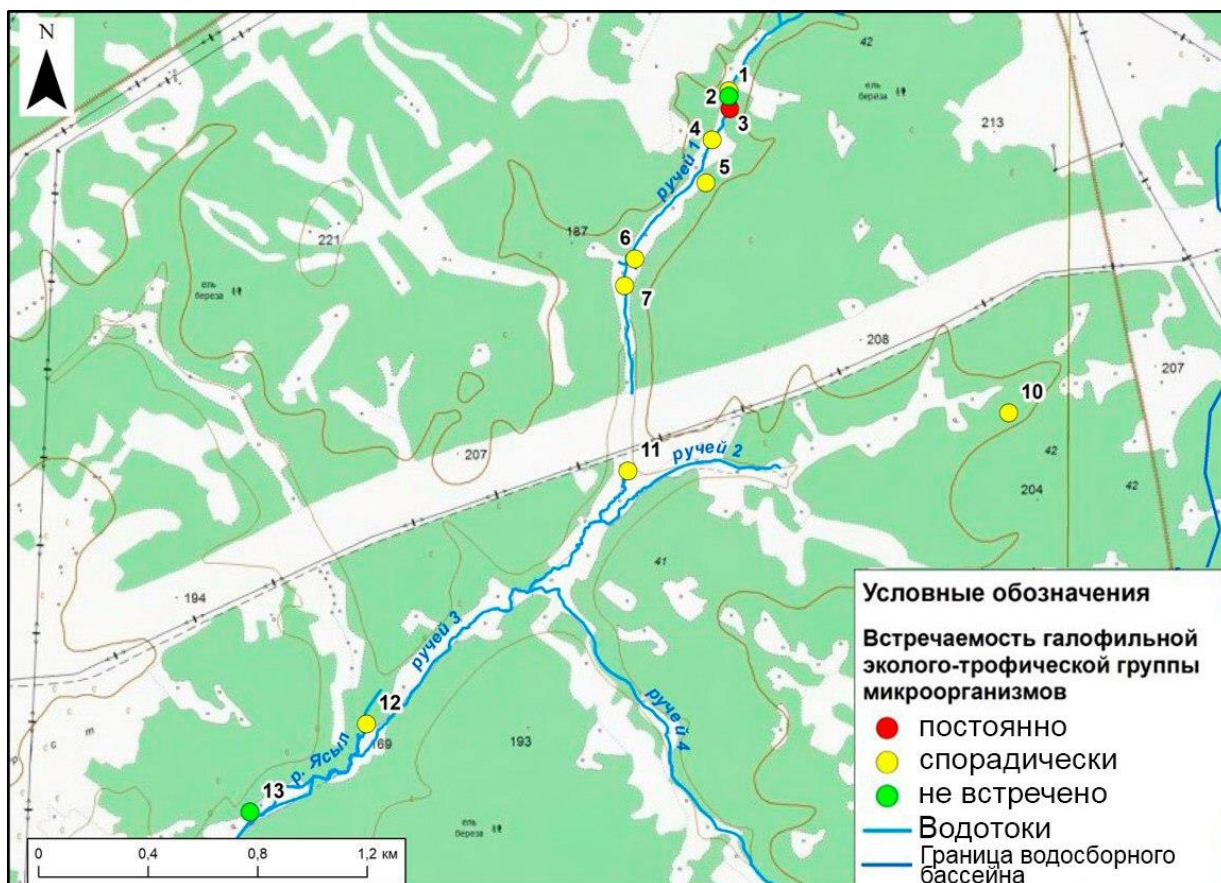


Рис. 11. Встречаемость галофильных микроорганизмов за весь период наблюдений

**4. Выявленные пространственные закономерности механогенеза, битумизации и галогенеза подтверждаются результатами газогеохимической съемки и формируют геоэкологическую ситуацию в верхней части водосборного бассейна р. Ясыл.**

На основе полученных данных была определена геоэкологическая ситуация верхней части водосбора р. Ясыл (рис. 12), отражающая изменения природной среды в карстовом районе при добыче нефти.

Результаты обследования атмосферного воздуха, которые проводились с помощью газоанализатора ГАНК-4 (2016 г., ПГНИУ), спектрофотометра ПЭ-5300В и хроматографа «Хроматек-Кристалл» 5000 (2017-2018 гг., ООО «Экологическая лаборатория»), показали, что наибольшее загрязнение атмосферного воздуха в 2016 г. было отмечено у входа в Пономаревскую пещеру (ПП 10). Здесь наблюдалось превышение ПДКм.р. по бензолу, гексану, толуолу и сероводороду более чем в 10 раз (выше диапазона измерения прибора), по метану в 9,2 раза. Рядом с загрязненной воронкой (ПП 15) в верховьях лога Арапов Ключ превышены половина показателей: толуол (13 ПДКм.р.), метан (3,3 ПДКм.р.), бензол (2,5 ПДКм.р.), сероводород (1,9 ПДКм.р.), гексан (1,1 ПДКм.р.). Вблизи куста скважин №9 на участке нефтяного загрязнения отмечены превышения нормативов по толуолу (3,5 ПДКм.р.), бензолу (2,7 ПДКм.р.), метану (2,4 ПДКм.р.).

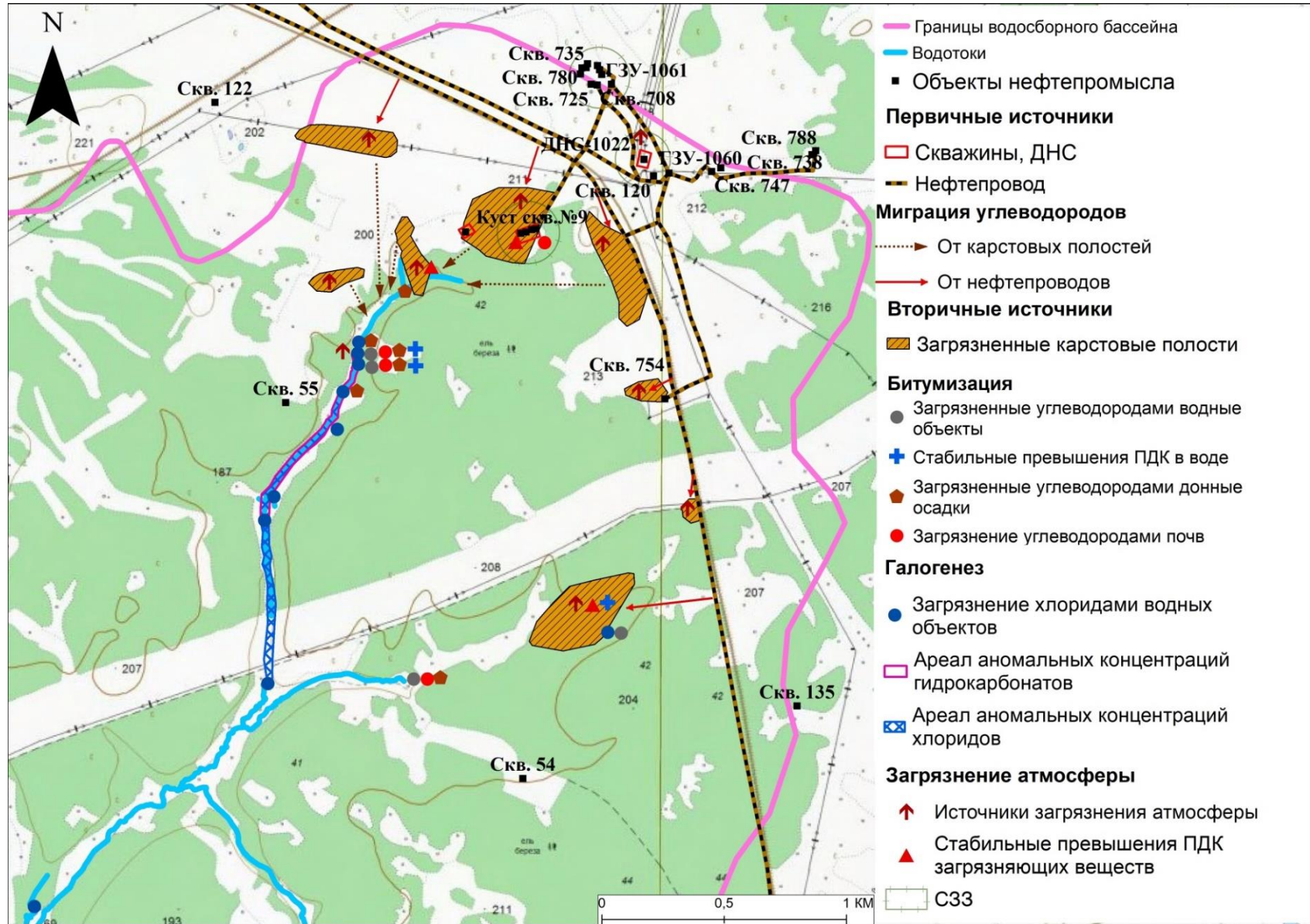


Рис. 12. Геоэкологическая обстановка в верхней части водосборного бассейна р. Ясыл

В 2017 году стоит отметить лишь загрязнение сероводородом, которое существенно превышает ПДК в двух точках: родник 2 (4,5 ПДКм.р., 2,7 ПДКс.с.) и Пономаревская пещера (28,5 ПДКм.р., 14,3 ПДКс.с.).

В мае 2018 г. повышенные концентрации этилбензола наблюдались на границе промплощадки куста скважин №9, у Пономаревской пещеры – превышение по сероводороду. В августе 2018 г. загрязнение предельными углеводородами (С<sub>6</sub>-С<sub>10</sub>) отмечено у Пономаревской пещеры, у куста скважин №9, у загрязненной воронки. В целом, можно отметить стабильное многократное превышение ПДК по сероводороду в атмосферном воздухе у входа в Пономаревскую пещеру, которое отмечалось ежегодно.

Вклад в загрязнение воздуха на исследуемой территории вносят газы, содержащиеся в почвенном и грунтовом воздухе. Газогеохимическая съемка, выполненная лабораторией геоэкологии горнодобывающих регионов Горного института УрО РАН с помощью переносного экспресс-газоанализатор Escoprobe-5 (RS DYNAMICS), помогла выявить участки с повышенными концентрациями некоторых газов. В 2016 г. в грунтовом воздухе фиксировались повышенные концентрации сероводорода преимущественно в пикетах, расположенных вдоль русла реки Ясыл. Наибольшие значения – 5,9-9,5 ppm – характерны для точек наблюдения ПП 6 и 7.

В 2017 году количество аномальных пикетов по СН<sub>4</sub> и углеводородам С<sub>1</sub>-С<sub>5</sub> не превышало 13-18% от их общего числа. Определено, что для гумусового горизонта характерно более высокое содержание в составе почвенных газов метана, в то время как для грунтового воздуха отмечаются более высокие концентрации суммарного содержания углеводородов С<sub>1</sub>-С<sub>5</sub>, т.е. присутствие тяжелых углеводородов. Наиболее вероятным источником последнего является «газовое дыхание» недр – поступление миграционных углеводородов в зону аэрации из нижележащей части недр.

Газогеохимическое зондирование приустьевой зоны действующего куста скважин №9 показало присутствие в приповерхностном газовом фоне вблизи некоторых скважин повышенных концентраций углеводородов, в составе которых доминируют гомологи метана. Особое внимание привлекает скважина №707, в приустьевой зоне которой в подпочвенном газе зафиксированы аномально высокие концентрации углеводородов С<sub>1</sub>-С<sub>5</sub> и летучие органические соединения (ЛОС). С учетом отсутствия визуальных признаков нефтезагрязнения обследованного разреза, можно предположить, что данные концентрации связаны с активизацией вертикального массопереноса газовых компонентов в околоствольном пространстве скважины из продуктивной части разреза за счет наличия дефектов в ее герметичности.

Западнее площадки нефтепромысловых объектов распределение аномальных пикетов носит мозаичный характер, причем повышенное содержание метана и его гомологов отмечается в основном в почвенных газах. В подпочвенном воздухе

концентрации данных компонентов значительно ниже, что позволяет предполагать поверхностный источник формирования данной аномалии, в т.ч. возможное влияние нефтепровода, проходящего севернее. Не исключено, что с данным источником связан и ряд аномальных пикетов, выявленных к западу от площадки нефтепромысловых объектов.

Следует отметить, что выявленный мозаичный характер газогеохимических аномалий может быть обусловлен сложным анизотропным строением карстового массива, обусловившим наличие нескольких локальных зон нефтезагрязнения, сформировавшихся за счет рассеяния грунтовыми водами, и контролируемых гидродинамическими условиями приповерхностной части разреза. Это приводит к тому, что разгрузка нефти осуществляется только в периоды паводков, когда за счет инфильтрационного питания происходит активизация грунтового стока, выступающего в виде транспорта нефти в зону его разгрузки.

Таким образом, воздушная среда бассейна реки Ясыл загрязнена за счет разрушения углеводородов в карстовых полостях, выбросов от технологических процессов.

В качестве первичных источников техногенеза рассматриваются объекты нефтепромысла: площадка скважин, нефтепровод, дожимная насосная станция (ДНС). Разгерметизация процесса добычи и/или транспортировки нефти привела к формированию вторичных источников загрязнения в карстовых полостях различной емкости, которые способны аккумулировать большие объемы нефти (нефтесодержащих жидкостей) и загрязнять окружающую среду, в особенности водотоки. Помимо карстовых полостей, в качестве вторичных источников загрязнения можно рассматривать донные осадки и пойменные почвы. Аккумуляция нефти в карстовых полостях выявлена с помощью бурения исследовательских скважин и газогеохимической съемки. Рассматривая бассейн р. Ясыл можно говорить о том, что выходы подземных вод с признаками битумизации, галогенеза, а также загрязненные донные осадки и почвы наиболее выражены в родниках лога Арапов Ключ и ручья в Пономаревской пещере.

Карст представляет собой сложный процесс, в результате которого могут образовываться разнообразные формы рельефа, включая полости больших объемов, которые в перспективе могут стать резервуарами депонирования углеводородов или иных жидкостей. Длительная разработка нефтяных месторождений в районах развития сульфатного и сульфатно-карбонатного карста ведет к изменению гидрохимического состава вод, почв, донных отложений под воздействием поступления углеводородов и хлоридов, в целом, экологической ситуации.

## ВЫВОДЫ

1. На территории эксплуатируемого месторождения нефти техногенные потоки, состоящие из нефтяных углеводородов, соленых вод, попутных газов запускают процессы механогенеза, битумизации, галогенеза и загрязнения атмосферы, происходит изменение природной среды.
2. Разработана методика изучения изменения компонентов природной среды в карстовом районе на основе использования сплошного дистанционного зондирования беспилотным летательным аппаратом, газогеохимической съемки, биоиндикации, общепринятых способов обследования недр, воздушной среды, водных объектов, почв, донных осадков. Проведено комплексное обследование последствий добычи нефти в бассейне реки Ясыл, получены репрезентативные данные о современном состоянии природной среды в карстовом районе. Создана база данных в форме ГИС «Техногенная трансформация природной среды в карстовом районе» (RU 2021621102 от 21.04.2021), которая позволила в пространстве и во времени оценить особенности изменения природной среды при нефтедобыче. Разработанный методический комплекс может быть использован при изучении других карстовых районов.
3. Наличие карста на территории нефтепромысла определяет потенциальную возможность длительного депонирования значительных объемов углеводородов в карстовых полостях, которые впоследствии становятся вторичными источниками загрязнения природной среды. Потенциальная емкость карстового массива лога Арапов Ключ может составлять порядка 350 000 тонн нефти.
4. По результатам аэросъемки выявлено 375 участков механогенеза общей площадью 1039,97 (21,16% от всего водосбора). В наиболее преобразованной добычей и транспортировкой нефти верхней части речного бассейна, механогенезом охвачено 27% территории. При этом, механическое воздействие по большинству таких участков, обусловлено нефтепромысловой деятельностью. Среди механогенеза, связанного с добычей нефти, в верхней части водосбора наибольшие площади занимают полосы отвода линейных коммуникаций; а также рубки леса на прилегающих участках. Доля площади собственно, нефтепромысловых объектов (скважины, кусты скважин, дожимно-насосные станции) сравнительно невелика – 2,7%. Добыча нефти обуславливает постоянный, значительный по площади техногенный механогенез, приуроченный к промышленным объектам.
5. Присутствие нефтепродуктов и углеводородокисляющих микроорганизмов в водах и почвах водосборного бассейна свидетельствует о том, что битумизация приобрела хронический характер. Во временном отношении концентрации нефтепродуктов возрастают в периоды половодья. В пространственном отношении содержание углеводородов постепенно снижается в направлении устья реки.

6. Проявление природного и техногенного галогенеза находит выражение в увеличении содержания хлоридов и гидрокарбонатов в пробах воды и обуславливает формирование сообществ галофильных микроорганизмов.
7. В результате битумизации часть карстовых полостей (Пономаревская пещера, карстовая воронка) стали постоянным источником загрязнения атмосферного воздуха сероводородом, бензолом, метаном, гексаном, толуолом и предельными углеводородами. Выявлены газогеохимические аномалии, которые обусловлены аккумуляцией углеводородов в карстовом массиве. Определен ряд сопряженных аномалий около площадки нефтепромысловых объектов и нефтепроводов с повышенным содержанием в подпочвенном воздухе углеводородных газов. Приуроченность к трассе нефтепровода показывает, что формирование ареала высокой концентрации углеводородов обусловлено данным технологическим объектом.
8. По результатам исследования определена геоэкологическая обстановка в верхней части водосборного бассейна р. Ясыл, отражающая первичные и вторичные и источники техногенеза, битумизацию, галогенез и загрязнение атмосферы в условиях карста при добыче нефти.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *Статьи в изданиях, включенных в перечень ВАК РФ*

1. Бузмаков С.А., **Хотяновская Ю.В.**, Андреев Д.Н., Егорова Д.О., Назаров А.В. Индикация состояния экосистем в условиях нефтепромыслового техногенеза // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. №4(47). С. 90–102. doi 10.17072/2079-7877-2018-4-90-102
2. **Хотяновская Ю.В.**, Бузмаков С.А., Кучин Л.С. Геоэкологические закономерности трансформации природной среды при эксплуатации нефтяного месторождения в карстовом районе // Географический вестник = Geographical bulletin. 2023. №1(64). С. 127–138. doi 10.17072/2079-7877-2023-1-127-138

### *Публикации, индексируемые в Scopus/WoS*

3. Degradation and pollution of lands under the influence of oil resources exploitation / S.A. Buzmakov, **Y.V. Khotyanovskaya** // Applied Geochemistry, Volume 113, February 2020, 104443. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104443>
4. **Khotyanovskaya, Y.**, Buzmakov, S. & Sannikov, P. Identification of oil mining technogenesis based on aerial photography data. J Soils Sediments (2022). <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03357-y>. (Q1)
5. Buzmakov S.A., Andreev D.N., Zaytsev A.A., **Khotyanovskaya Y.V.**, Voronov G.A. Possible sources of pollution by oil products of water body in karst area 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 321 012051. doi:10.1088/1755-1315/321/1/012051

### *Публикации, индексируемые в РИНЦ*

6. **Khotyanovskaya, Y.** Negative impact of oil – extracting the industries on the environment / Y. Khotyanovskaya, A. Shekhovtseva // Новое в естественных и гуманитарных науках = innovations in science and humanities: сборник материалов межвузовских научно-

- практических студенческих конференций, Пермь, 25 ноября 2016 года – 26 2017 года. Vol. Выпуск X. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2017. – Р. 20–24.
7. Андреев Д.Н., Дзюба Е.А., **Хотяновская Ю.В.** Биотический мониторинг в карстовом районе нефтедобычи (Пермский край) // Антропогенная трансформация природной среды. 2017. Выпуск 3. С. 87–89.
  8. **Хотяновская Ю.В.** Трансформация природной среды при добыче нефти в карстовом районе // Актуальные проблемы освоения месторождений нефти и газа приарктических территорий России: материалы Всероссийской научно-практической конференции (27–28 сентября 2018 г.). Архангельск, 2018. С. 158–161.
  9. **Хотяновская Ю.В.** Оценка физиологического состояния растительности при нефтедобыче на юго-востоке Пермского края // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. Выпуск 4. С. 202–205.
  10. **Хотяновская Ю.В.**, Бузмаков С.А., Воронов Г.А., Андреев Д.Н. Техногенные источники поступления нефтепродуктов в поверхностные водные объекты карстового района // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. VII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. (г. Пермь 30 мая – 2 июня 2019 г.): в 3 т. Т. 2: Качество воды. Геоэкология; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. С.205–210.
  11. Бузмаков С.А., Санников П.Ю., Дзюба Е.А., **Хотяновская Ю.В.**, Сивков Д.Е. Методы, методики и технологии создания геоинформационной системы для обеспечения экологической безопасности на нефтяных месторождениях // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: сборник материалов всероссийской школы-семинара, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка, Пермь, 22–23 апреля 2021 года. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2021. – С. 145–148.
  12. **Хотяновская Ю.В.** Некоторые аспекты трансформации экосистем в карстовом районе при добыче нефти // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: сборник материалов всероссийской школы-семинара, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка, Пермь, 22–23 апреля 2021 года. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2021. – С. 154–157.
  13. Бузмаков С.А., Санников П.Ю., Сивков Д.Е., Дзюба Е.А., **Хотяновская Ю.В.**, Егорова Д.О. Разработка геоинформационных систем для управления окружающей средой и экологической безопасностью в районах эксплуатируемых нефтяных месторождений // Антропогенная трансформация природной среды. 2021. Т. 7. № 1. С. 102–127. DOI: 10.17072/2410-8553-2021-1-102-127.
  14. **Khotyanovskaya, Y.**: Technogenic transformation of ecosystems in the karst area during oil production, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-6883, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-6883>, 2022.
  15. Sannikov, P., **Khotyanovskaya, Y.**, and Buzmakov, S.: Applicability of aerial photography for identifying of oil mining technogenesis: mechanical transformations, bitumization, technogenic salinization, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-2643, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-2643>, 2022.

16. Состав бактериальных сообществ нефтезагрязненных донных отложений реки Каменка / Д.О. Егорова, П.Ю. Санников, **Ю.В. Хотяновская**, С.А. Бузмаков // Вестник Московского университета. Серия 16: Биология. – 2023. – Т. 78, № 1. – С. 17-24. – DOI 10.55959/MSU0137-0952-16-78-1-3.
17. **Хотяновская, Ю.В.**, Бузмаков С.А. Мероприятия по экологической безопасности в карстовом районе при добыче нефти // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка, Пермь, 20–21 апреля 2023 года. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2023. – С. 527-530.

***Объекты интеллектуальной собственности***

18. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021621102 Российская Федерация. Техногенная трансформация природной среды в карстовом районе: № 2021620770: заявл. 21.04.2021: опубл. 27.05.2021 / **Ю.В. Хотяновская**, Д.Н. Андреев, С.А. Бузмаков, Е.А. Дзюба [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет».

**ОГЛАВЛЕНИЕ РАБОТЫ**

**ВВЕДЕНИЕ**

**ГЛАВА 1. ТЕХНОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ В РАЙОНАХ НЕФТЕДОБЫЧИ**

- 1.1. Механогенез на территории нефтяных месторождений
- 1.2. Битумизация на территории нефтяных месторождений
- 1.3. Галогенез на территории нефтяных месторождений
- 1.4. Загрязнение атмосферы при добыче нефти
- 1.5. Техногенез в карстовых районах

**ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

- 2.1. Географическая характеристика района исследования
- 2.2. Методы исследования

**ГЛАВА 3. ИЗМЕНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ БАССЕЙНА РЕКИ ЯСЫЛ**

- 3.1. Карст в районе исследования
- 3.2. Механогенез в водосборном бассейне
- 3.3. Битумизация в карстовом районе
- 3.4. Проявление техногенного галогенеза
- 3.5. Загрязнение воздушной среды
- 3.6. Геоэкологическая ситуация на территории исследования

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

**ПРИЛОЖЕНИЯ**



---

Подписано в печать 13.02.2024 г. Формат 60x84/16  
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 1,45  
Тираж 100 экз. Заказ № 16/2

Отпечатано в типографии ПГНИУ  
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15

---