

Экология и природопользование
Бузмаков С.А., Черемных А.В.

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Научная статья

УДК 504.54

doi: 10.17072/2079-7877-2025-3-127-142

EDN: HKYDNB



ВЛИЯНИЕ БИТУМИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ КАРСТА НА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННУЮ ТРАНСФОРМАЦИЮ МАЛОЙ РЕКИ НА ОСНОВЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ И БИОТЕСТИРОВАНИЯ

Сергей Алексеевич Бузмаков¹, Анастасия Владимировна Черемных²

^{1, 2} Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

¹ lep@psu.ru, SPIN-код: 8537-9627, РИНЦ Author ID: 119313, ORCID: 0000-0002-5144-0714, Scopus Author ID: 55700746600, Researcher ID: ABC-9546-2020

Аннотация. Комплекс исследований из лабораторных экспериментов и полевых обследований на основе геохимических методов и биотестирования позволяет обозначать и решать задачи по выявлению последствий битумизации, природно-техногенной трансформации малой реки в карстовых условиях. Малая река выступает приемником природно-техногенного потока углеводородов в карстовом районе. Химический состав вод реки типичен для условий нефтепромыслового техногенеза: пробы обогащены хлоридами и углеводородами. Приводятся оригинальные материалы экспериментов по моделированию битумизации и полевых наблюдений по влиянию доз и концентраций углеводородов на оптическую плотность хлореллы. Даны сведения о содержании химических элементов в донных осадках и сведения о результатах их биотестирования. Установлена положительная реакция в экспериментах хлореллы на увеличение доз нефти. Качество донных отложений на территории нефтяного месторождения прямо или косвенно связано с битумизацией, которая вносит изменения в экосистему. Водная среда и донные отложения истоков реки Одиновская обогащены нефтяной органикой и положительно влияют на жизнедеятельность хлореллы. В среднем течении малой реки наблюдается наименьшая оптическая плотность хлореллы. Определены геохимические ряды элементов, особенности их аккумуляции и миграции в условиях техногенеза. В донных отложениях аккумулируются мышьяк, кобальт и титан, мигрируют цинк и марганец. Концентрации мышьяка и свинца превышают санитарные нормы. Эксперименты и полевые отборы проб для тестирования с использованием хлореллы показали, что техногенные потоки углеводородов усиливают гетеротрофность экосистемы истока малой реки. Увеличение плотности хлореллы в пробах при тестировании можно диагностировать как техногенное органическое загрязнение. В природно-техногенных условиях хлорелла также реагирует на увеличение содержания углеводородов, как и в эксперименте. Битумизацию возможно и целесообразно диагностировать по увеличению оптической плотности хлореллы.

Ключевые слова: битумизация, трансформация, аккумуляция, миграция, биотестирование, микроэлемент, карст, оптическая плотность, замедленная флуоресценция, техногенез

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Пермского края No. 24-17-20025. <https://rscf.ru/project/24-17-20025/>.

Для цитирования: Бузмаков С.А., Черемных А.В. Влияние битумизации в условиях карста на природно-техногенную трансформацию малой реки на основе геохимических данных и биотестирования // Географический вестник=Geographical bulletin. 2025. № 3(74). С. 127–142. DOI: 10.17072/2079-7877-2025-3-127-142. EDN: HKYDNB

ECOLOGY AND NATURE USE

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-3-127-142

EDN: HKYDNB

THE INFLUENCE OF BITUMINIZATION IN KARST CONDITIONS ON THE NATURAL-TECHNOGENIC TRANSFORMATION OF A SMALL RIVER BASED ON GEOCHEMICAL DATA AND BIOTESTING

Sergei A. Buzmakov¹, Anastasia V. Cheremnykh²

^{1, 2} Perm State University, Perm, Russia

¹ lep@psu.ru, SPIN-code: 8537-9627, RSCI Author ID: 119313, ORCID: 0000-0002-5144-0714, Scopus Author ID: 55700746600, ResearcherID: ABC-9546-2020



© 2025 Бузмаков С. А., Черемных А. В. Лицензировано по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, перейдите по ссылке <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Экология и природопользование
Бузмаков С.А., Черемных А.В.

Abstract. A set of studies consisting of laboratory experiments and field surveys based on geochemical methods and biotesting allows us to formulate and solve problems related to identifying the consequences of bituminization, natural-technogenic transformation of a small river in karst conditions. A small river acts as a receiver of natural-technogenic hydrocarbon flow in the karst region. The chemical composition of the river waters is typical for the conditions of oilfield technogenesis: samples are enriched with chlorides and hydrocarbons. The article presents original materials from experiments on bituminization modeling and field observations on the effect of hydrocarbon doses and concentrations on the optical density of *Chlorella*. The study provides information on the content of chemical elements in bottom sediments and the results of their biotesting. The experiments established a positive reaction of *Chlorella* to an increase in oil doses. The quality of bottom sediments in the territory of an oil field is directly or indirectly related to bituminization, which changes the ecosystem. The aquatic environment and bottom sediments of the Odinovskaya River sources are enriched with oil organic matter and have a positive effect on the vital activity of *Chlorella*. The lowest optical density of *Chlorella* is observed in the middle reaches of the small river. The study determined the geochemical series of elements as well as features of their accumulation and migration under technogenic conditions. Arsenic, cobalt, and titanium accumulate in the bottom sediments, while zinc and manganese migrate. The concentrations of arsenic and lead exceed sanitary standards. Experiments and field sampling for testing with the use of *Chlorella* showed that technogenic hydrocarbon flows enhance the heterotrophy of the small river source's ecosystem. An increase in the density of *Chlorella* in samples during testing can be diagnosed as technogenic organic pollution. Under natural-technogenic conditions, *Chlorella* also reacts to an increase in hydrocarbon content, as in the experiment. It is possible and advisable to diagnose bituminization by the increased optical density of *Chlorella*.

Keywords: bituminization, transformation, accumulation, migration, biotesting, microelement, karst, optical density, delayed fluorescence, technogenesis

Funding: the study was supported by a grant from the Russian Science Foundation and the Perm Territory, project No. 24-17-20025, <https://rscf.ru/project/24-17-20025/>.

For citation: Buzmakov, S.A., Cheremnykh, A.V. The influence of bituminization in karst conditions on the natural-technogenic transformation of a small river based on geochemical data and biotesting. *Geographical Bulletin*. No. 3(74). Pp. 127–142. DOI: 10.17072/2079-7877-2025-3-127-142. EDN: HKYDNB

Введение

В настоящее время существует достаточно проработанная теория техногенеза на нефтепромыслах, который состоит из механогенеза, битумизации, галогенеза и поступлений окислов и углеводородов в атмосферу [12].

Геохимические исследования и биотестирование природно-техногенных компонентов, таких как донные отложения и вода на территории нефтяных месторождениях, являются важной составляющей для оценки последствий техногенеза, определения экологического состояния окружающей среды. Часто добыча нефти сопровождается негативными последствиями для окружающей среды, включая загрязнение почвы, воды и атмосферы [24, 25].

Геохимические исследования предоставляют возможность определить концентрации и состав веществ в почве, воде и донных отложениях. Проводятся количественный и качественный анализ, определение содержания химических веществ и элементов, что позволяет оценить степень антропогенной трансформации окружающей среды и ее отдельных компонентов.

Исследование, проведенное в природном районе Кунгурской лесостепи, расположенному в юго-восточной части Пермского края, выявило фоновое содержание для района и элементы, которые отражают геохимическую специфику Кунгурской лесостепи ($KK=Co/1,7 > Ni/1,1$), обозначив это как район «Кунгурская лесостепь сидерофильной специализации с кобальт-никелевой ассоциацией» [5].

Малые реки и ручьи могут считаться наиболее информативными объектами при изучении последствий разработки месторождений углеводородов, испытывающими непосредственное воздействие от рассредоточенных источников загрязнений, расположенных в пределах их водосборных площадей [14].

Потенциально токсичные элементы и нефть являются приоритетными поллютантами из-за высокой токсичности и способности к аккумуляции в окружающей среде, а их токсичность обуславливает актуальность ре-медиации нефтезагрязненных территорий [13]. Постоянно разрабатываются различные способы ликвидации последствий битумизации [22].

Разрушение углеводородов остается сложной задачей, требующей решения многих вопросов. Например, содержание глины и особенности минералов существенно влияют на взаимодействие почвы с нефтью, которое связано с сорбционной способностью почв [21].

Особенностью многих проводимых исследований является использование экогохимических методов совместно с биотестовыми. Такой подход позволяет не только определить и минимизировать недостатки каждого метода, но и провести всестороннюю оценку состояния компонентов природной среды [1].

В настоящее время методы биотестирования широко используются в международной практике контроля за качеством окружающей среды и даже являются обязательными в природоохранной практике таких стран, как США, Франция, Германия, Швеция, Япония [20, 27].

В России исследователями также предлагается в систему экологического мониторинга ввести стандартизованные методы биотестирования [15, 16].

Экология и природопользование
Бузмаков С.А., Черемных А.В.

Для выявления уровня загрязнения с использованием биологических систем раннего предупреждения (Biological Early Warning Systems, BEWS) были разработаны методы подсчета побочных эффектов на организмы. BEWS могут непрерывно отслеживать физиологические и поведенческие реакции организмов для своевременного обнаружения увеличения концентрации загрязняющих веществ [23, 26, 28].

Биоиндикаторы активно отражают состояние окружающей среды, позволяя избежать регистрации химических и физических параметров, и показывают возможные пути и способы попадания загрязнений в экосистемы и пищевые цепи. Тест-объекты помогают оценить воздействие веществ на живую природу и человека [3].

Для оценки экологического состояния природной среды на территории газоконденсатных месторождений был применен комплекс методов, включающий анализ химического состава почв и растений, а также биотестирование водных вытяжек из почв с использованием тест-объекта *Chlorella vulgaris*. Результаты демонстрируют, что данные биотестирования соответствуют содержанию загрязняющих веществ в почвах и растениях. Таким образом, подчеркнута важность биологических методов индикации при незначительных изменениях состояния окружающей среды в условиях газоконденсатных месторождений [18].

Показано, что тест-объект хлорелла может быть использован в качестве интегральных показателей при оценке экологического благополучия природной среды в районах нефтедобычи, что тест-объекты – инфузория *P. caudatum* и хлорелла *C. vulgaris* – могут быть приняты в качестве интегральных показателей при оценке экологического состояния водных объектов в районах нефтедобычи [1].

В Пермском крае проводятся исследования загрязнения среды нефтяными продуктами. Исследовали изучали сравнительную реакцию организмов разных трофических уровней на экспериментальное загрязнение нефтью нескольких типов почв, влияние водных вытяжек из нефтезагрязненных почв на *Chlorella vulgaris* и *Daphnia magna*. Представлены показатели допустимого содержания нефти и продуктов ее трансформации для подзолов иллювиально-железистых, дерново-подзолистых, торфяных болотных верховых почв Пермского края. Проведены эксперименты по фитотестированию, биотестированию качества водных вытяжек при дифференцированном нефтезагрязнении [2].

В материалах представлены результаты биотестирования снегового покрова в рамках проведения биодикционных исследований. Методом измерения ОП тест-культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) определена величина токсичности тестируемых талых вод [6].

Водоросли хлорелла широко используются в биотестировании нефтегазоносных территорий из-за их высокой чувствительности к загрязнителям и способности аккумулировать токсины. В целом биотестирование на водорослях хлорелле представляет собой эффективный способ контроля за состоянием водных экосистем и выявления потенциальных угроз для них.

Комбинированное использование результатов заданных экспериментов и полевых обследований на основе применения комплекса наблюдений, основанного на геохимических методах и биотестировании, позволяет ставить и решать задачи по выявлению последствий битумизации на природно-техногенную трансформацию малой реки в карстовых условиях.

Материал и методика

Для изучения техногенеза нами применялся методический комплекс, базирующийся на лабораторном эксперименте с дифференцированными дозами нефти и прямым отбором проб воды и донных отложений из реки Одиновская (рис. 1).

Экспериментальная часть исследования проведена в лаборатории экологии и охраны природы кафедры биогеоценологии и охраны природы географического факультета ПГНИУ.

В первую очередь было выполнено биотестирование посредством добавления нефти с месторождения. Затем проведен опыт по замеру относительного показателя замедленной флуоресценции. Для определения токсичности нефти с месторождения проводилось два эксперимента: измерение ОП(ОП) [9] и измерение относительного показателя замедленной флуоресценции (ОПЗФ) хлореллы [10]. Первый эксперимент осуществлялся с 02.02.2023 по 09.02.2023 (7 суток), второй – с 15.02.2023 по 20.02.2023 (5 суток). Измерение величины относительного показателя замедленной флуоресценции (ОПЗФ) проводили на 5-е и 7-е сутки эксперимента по измерению оптической плотности. Для проведения световой экспозиции проб с культурой водоросли хлорелла, помещенной во флаконы-реакторы, используется флуориметр Фотон-10. Анализ ОПЗФ позволяет учитывать фотосинтетическую активность клеток водоросли. Измерение ОПЗФ велось в соответствии с методикой измерения относительного показателя флуоресценции культуры водоросли хлорелла. Уменьшение ОПЗФ на 50 % и более или увеличение на 50 % и более после экспонирования суспензии водоросли в течение 1 часа по сравнению с контрольной средой является критерием токсичности воды.

Река Одиновская относится к водосборному бассейну реки Ирень, является ее правым притоком. Длина реки составляет 6,6 км, она протекает по территории нефтяного месторождения, которое начало эксплуатироваться в 1965 г. Схема отбора проб воды и донных отложений представлена на рис. 2.

Экология и природопользование
Бузмаков С.А., Черемных А.В.

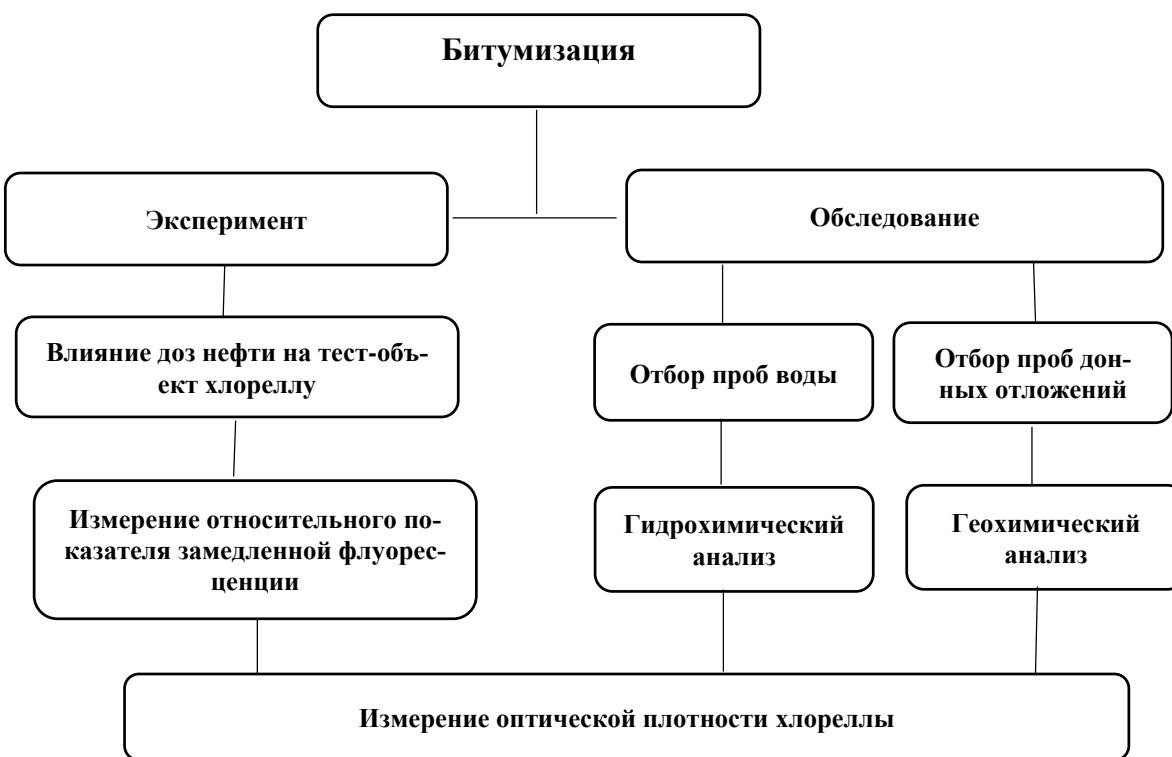
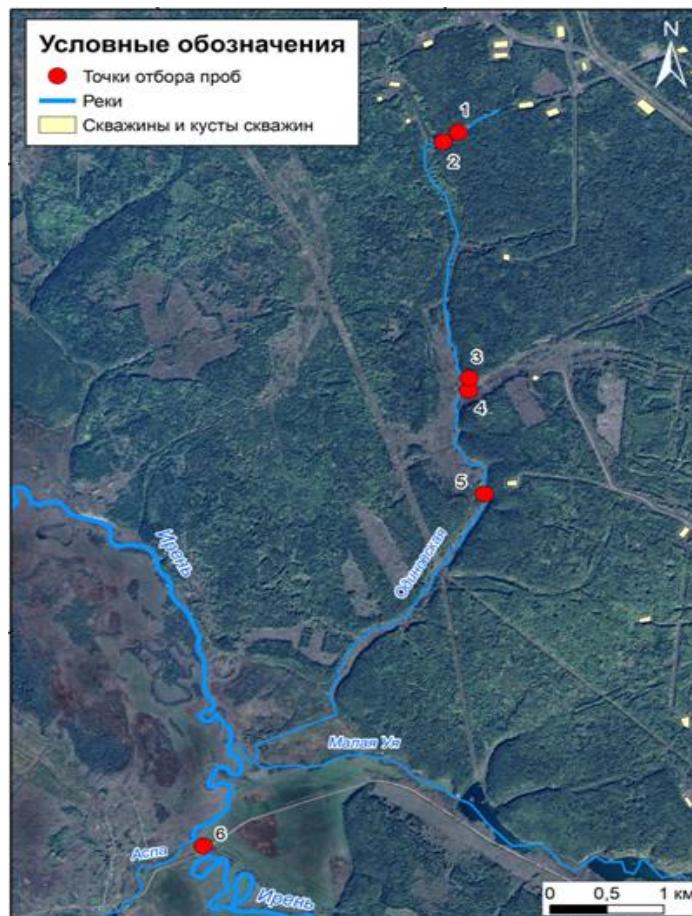


Рис. 1. Методический комплекс по изучению техногенной битумизации

Fig. 1. Methodological complex for studying technogenic bituminization

Рис. 2. Схема отбора проб воды и донных отложений
Fig. 2. Scheme of water and bottom sediment sampling

Экология и природопользование
Бузмаков С.А., Черемных А.В.

Полевое обследование, проходившее на р. Одиновской, можно разделить на несколько этапов. На первом этапе проведено полевое исследование на р. Одиновской. Отобраны пробы воды и донных отложений (20.06.2023).

Определение содержания нефтепродуктов и общий химический анализ воды выполнены в лаборатории гидрогеохимического анализа ПГНИУ.

Определение содержания макро- и микроэлементов проводилось методом рентгенофлуоресцентного анализа на волнодисперсионном спектрометре «Спектроскан МАКС-Г» в лаборатории экологии и охраны природы ПГНИУ. Проводился количественный анализ по валовому содержанию в донных отложениях мг/кг: Sr, Pb, As, Zn, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti согласно методике выполнения измерения массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах рентгенофлуоресцентным методом [17].

Для оценки загрязненности донных отложений использовались три эталона: гигиенические нормативы (ПДК для почв), фоновое значение и кларки химических элементов. Наиболее применимыми для нашего диапазона измеряемых химических элементов являются кларки по Григорьеву Н.А. [7]. В качестве фонового значения взята проба № 6 из р. Ирень. Для сравнения использовались почвенные показатели фона [4].

По полученным результатам построены геохимические ряды (по абсолютным величинам, мг/кг). Также были рассчитаны коэффициент концентрации (КК) и коэффициент рассеяния (КР), геохимические ряды элементов [8].

Далее проведено биотестирование воды и донных отложений на водоросли *Chlorella Vulgaris*. Также определено содержание макро- и микроэлементов в донных отложениях.

Таблица 1
Table 1

Органолептические показатели проб воды
Organoleptic characteristics of water samples

№ пробы	Место отбора пробы	Запах
1	Пруд-приемник в истоке р. Одиновской, справа от дороги	Отчетливый запах сероводорода
2	Водоток, выходящий из пруда-приемника (1), после пруда в истоке	Отчетливый запах сероводорода
3	Среднее течение реки. Пруд рядом с урочищем Чураки	Отсутствует
4	Среднее течение. Пруд ниже по течению, рядом с урочищем Чураки	Отсутствует
5	Водоток. Среднее течение реки	Отсутствует
6	р. Ирень	Отсутствует

Для водных проб и донных отложений, отобранных на реках, использовали метод биотестирования поверхностных вод и донных отложений. Флаконы устанавливаются в культиватор КВМ-05. Замер ОП проводился через 20–22 часа после начала эксперимента в зависимости от прироста ОП в контроле, которая не должна превышать величину 0,180 и не должна быть ниже 0,120. Оптическая плотность замерялась в каждой пробирке.

Для статистической обработки полученных результатов выбрана программа Microsoft Excel 2010.

Результаты и обсуждение

Экспериментальная часть

Нефть месторождения средняя по плотности, вязкая, парафинистая, смолистая. Плотность ($\text{г}/\text{м}^3$) колеблется в пределах 0,643–0,822; вязкость ($\text{мПа}\cdot\text{s}$) – 1,37–3,21; парафин (%) – 2,58–6,93; содержание серы (%) – 0,63–2,71. Специфические свойства нефти (высокие плотность и вязкость) характеризуют особенности загрязнения [8].

Для определения токсичности нефти при проведении биотестирования в пробирки добавляли нефть дозами 1, 2, 3, 4, 5 и достигали концентрации 0–0,015 г/мл. Было необходимо выяснить, при каких концентрациях нефти она начинает негативно влиять на водоросль хлорелла.

В первой серии эксперимента по изменению ОП хлореллы (рис. 3) в пробах с дифференцированными дозами нефти спустя сутки происходит рост тест-культуры на 20 % и более, что является критерием существенности влияния.

Экология и природопользование
Бузмаков С.А., Черемных А.В.

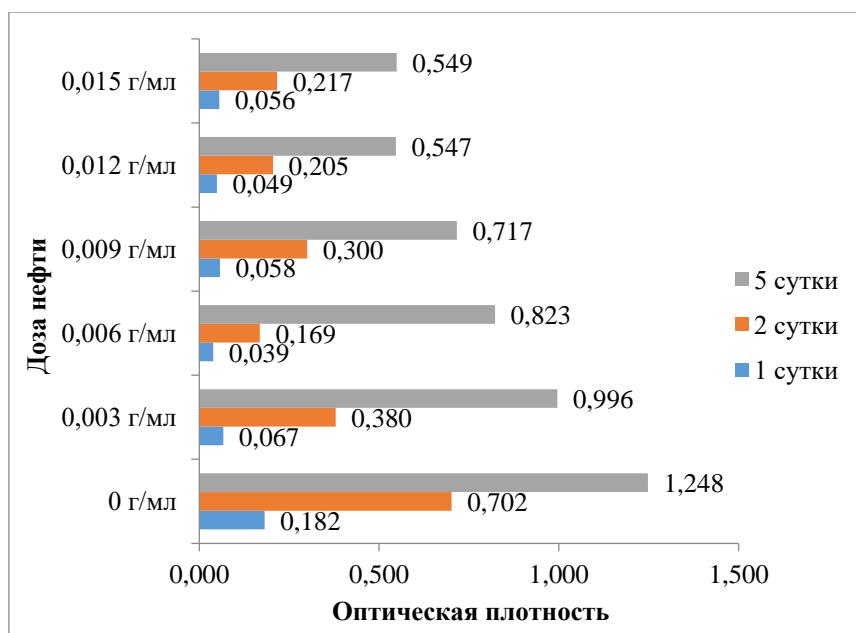


Рис. 3. Результаты по измерению оптической плотности (5 суток эксперимент)
Fig. 3. Optical density measurements (a 5-day experiment)

Во флаконах контрольных и при различных дозах нефти (рис. 3) ОП водоросли хлорелла увеличивается в течение 5 суток.

При увеличении длительности эксперимента до 6 суток по результатам измерения ОП во второй серии эксперимента (рис. 4) с увеличением дозы нефти в пробе происходит изменение ОП водоросли хлорелла.

В контрольной пробе (без нефти), в пробах 0,003, 0,006 г/мл ОП хлореллы достигает максимума на 4 сутки, в последующий период снижается.

В пробах с дозами выше, от 0,006 до 0,015 г/мл, максимальная плотность хлореллы отмечена на 6 сутки.

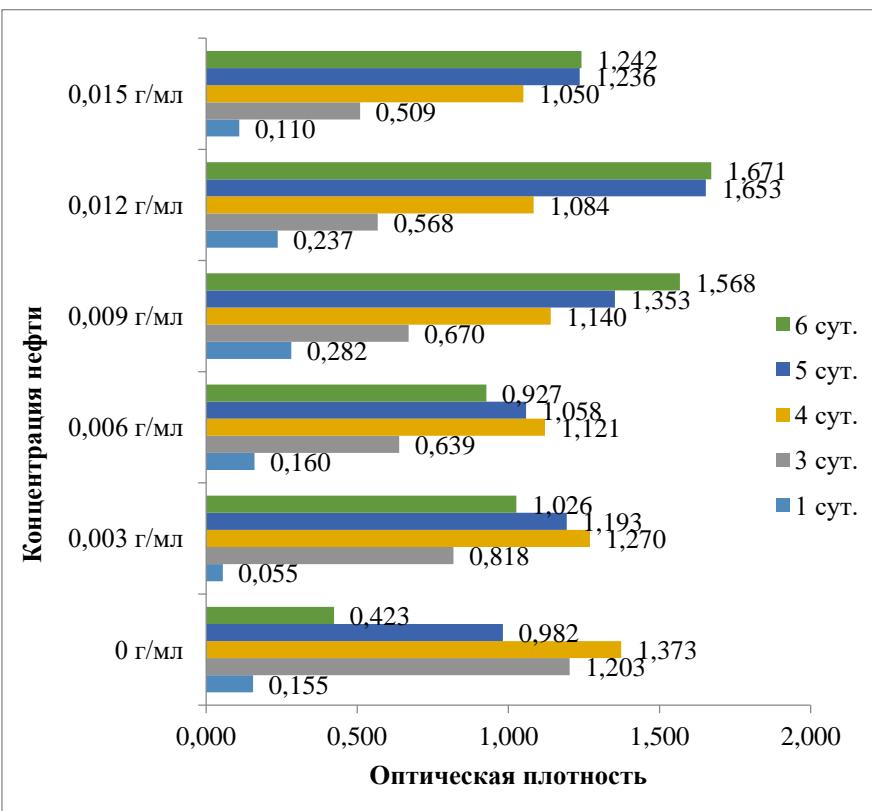


Рис. 4. Результаты по измерению для выявления токсичности нефти (6 суток эксперимент)
Fig. 4. Measurements to identify oil toxicity (a 6-day experiment)

Экология и природопользование
Бузмаков С.А., Черемных А.В.

В эксперименте без нефти (рис. 5) оптическая плотность водоросли хлорелла на 4–5-е сутки растет, а на 6-е сутки происходит уменьшение. На 7-е сутки прогнозируется достижение фоновых значений.

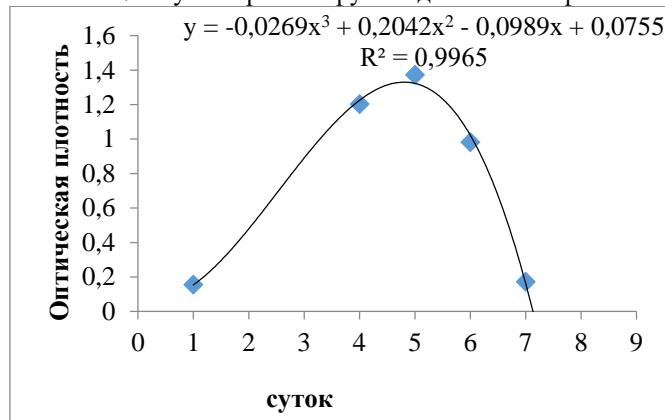


Рис. 5. Оптическая плотность водоросли хлорелла без внесения нефти
Fig. 5. Optical density of *Chlorella algae* without adding oil

При концентрациях нефти 0,003 г/мл (рис. 6) видим, что сначала наблюдается рост ОП, но после 6 суток наступает снижение ОП. На 8-е сутки прогнозируется достижение фоновых значений.

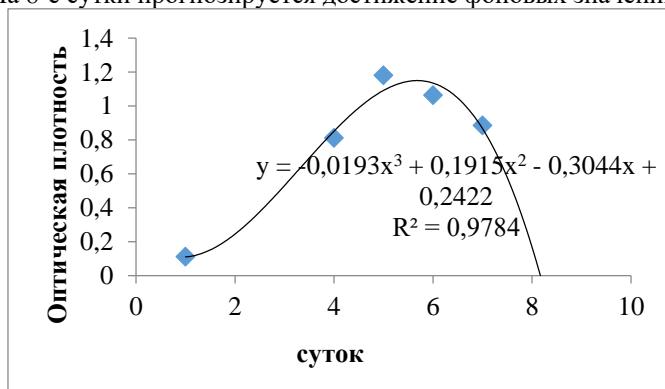


Рис. 6. Оптическая плотность водоросли хлорелла при концентрации нефти 0,003 г/мл
Fig. 6. Optical density of *Chlorella algae* at an oil concentration of 0.003 g/ml

При концентрациях нефти 0,006 г/мл (рис. 7) видим, что с начала эксперимента наблюдается рост ОП, после 6 суток эксперимента наступает спад ОП. На 9-е сутки прогнозируется уменьшение ОП и достижение фоновых значений.

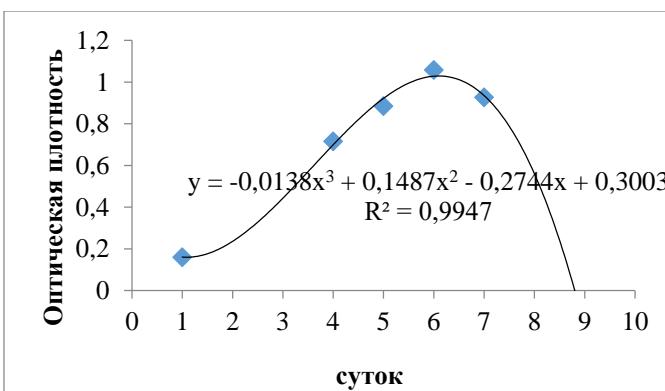


Рис. 7. Оптическая плотность водоросли хлорелла при концентрации нефти 0,006 г/мл
Fig. 7. Optical density of *Chlorella algae* at an oil concentration of 0.006 g/ml

При концентрациях нефти 0,009 г/мл (рис. 8) и выше происходит линейный рост ОП водоросли. Прогнозируется дальнейший прирост ОП. Такие изменения ОП хлореллы объясняются наличием питательных веществ на 7-е сутки, в качестве которых выступать в эксперименте может только нефть.

Экология и природопользование
Бузмаков С.А., Черемных А.В.

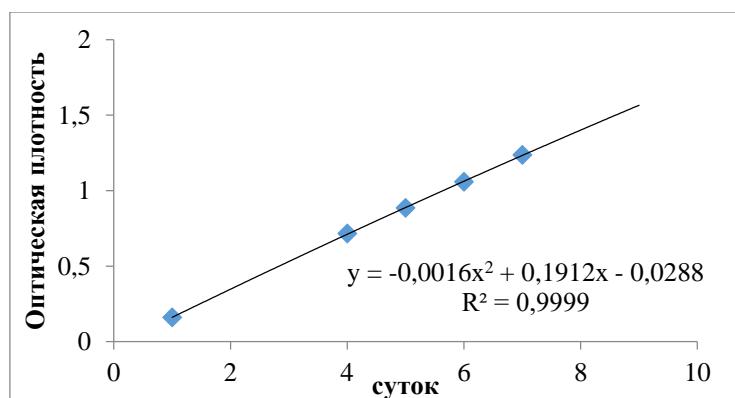


Рис. 8. Оптическая плотность водоросли хлорелла при концентрации нефти 0,009 г/мл
Fig. 8. Optical density of *Chlorella algae* at an oil concentration of 0.009 g/ml

По результатам эксперимента с измерением ОПЗФ (рис. 9) можно заключить, что увеличение дозы нефти вызывает рост показателя замедленной флуоресценции, а это свидетельствует о положительной прямой зависимости.

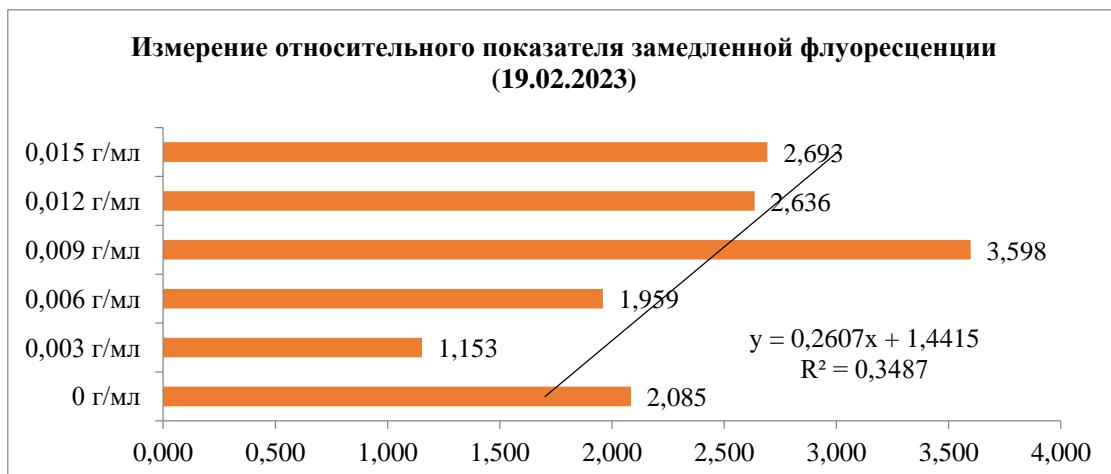


Рис. 9. Результаты измерений относительного показателя замедленной флуоресценции, 5-е сутки эксперимента
Fig. 9. Measurements of the relative index of delayed fluorescence, 5th day of the experiment

При этом на 5-е сутки эксперимента ОП хлореллы и ОПЗФ имеют обратную зависимость. Построен график зависимости ОП от относительного показателя замедленной флуоресценции 19.02.2023 (рис. 10).

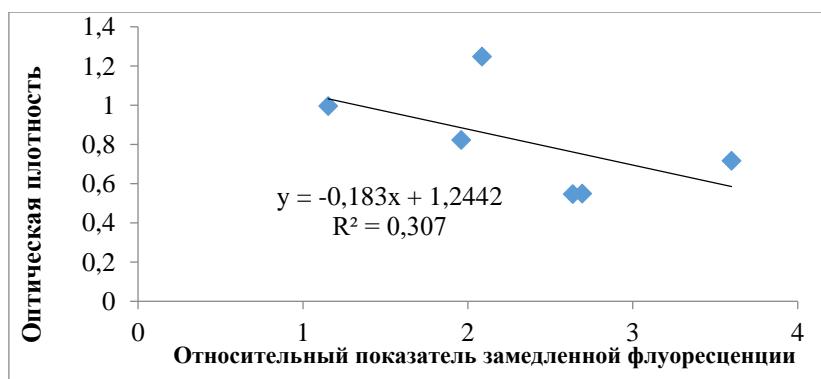


Рис. 10. Оптическая плотность и относительный показатель замедленной флуоресценции хлореллы, 5-е сутки эксперимента
Fig. 10. Optical density and relative index of delayed fluorescence of *Chlorella*, 5th day of the experiment

Экология и природопользование
Бузмаков С.А., Черемных А.В.

В эксперименте по измерению ОПЗФ при концентрациях нефти 0,006 г/мл и выше происходит уменьшение свечения на 50 % и более по сравнению с контролем, что является критерием существенного влияния. В эксперименте на 6-е сутки происходит выраженное снижение свечения у части проб на 50 %.

По результатам эксперимента измерения ОПЗФ (рис. 11.) установлено, что зависимость становится обратной на 6-е сутки между дозой нефти и ОПЗФ, то есть чем больше доза нефти, тем меньше ОПЗФ.

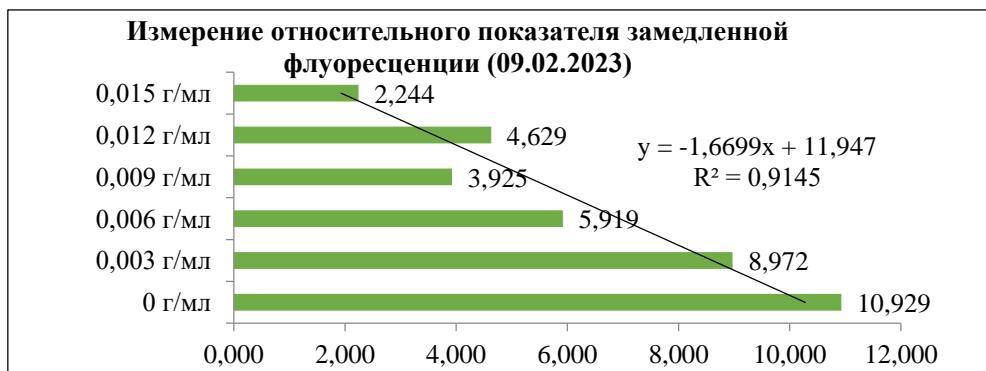


Рис. 11. Результаты измерений относительного показателя замедленной флуоресценции 09.02.2023, 6-е сутки после внесения нефти

Fig. 11. Measurements of the relative index of delayed fluorescence on 2 Sep 2023, 6th day after oil introduction

Также был построен график зависимости относительного показателя замедленной флуоресценции и ОП хлореллы 09.02.2023 (рис. 12). На 6-е сутки наблюдается обратная зависимость.

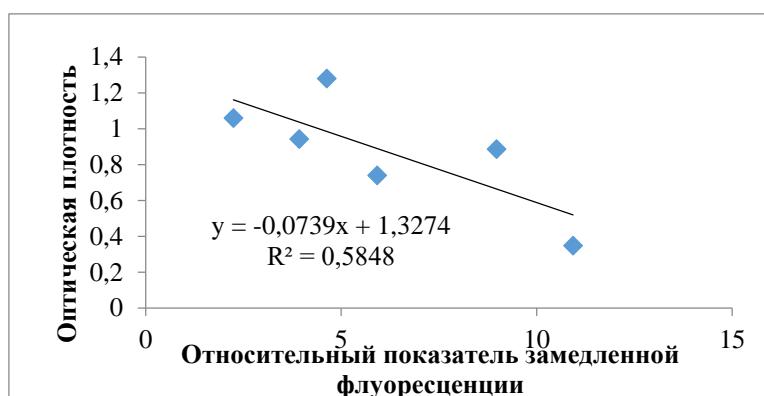


Рис. 12. Зависимость оптической плотности от относительного показателя замедленной флуоресценции 09.02.2023, 6-е сутки после внесения нефти

Fig. 12. Dependence of optical density on the relative index of delayed fluorescence 02 Sep 2023, 6th day after oil introduction

Эксперименты показывают, что увеличение дозы нефти положительно влияет на рост ОП и ОПЗФ хлореллы. Нефть является питательным субстратом. В замкнутых условиях лабораторной пробирки с течением времени происходит исчерпание питательных веществ (нефти), что приводит к снижению сначала ОПЗФ (фотосинтетической активности клеток), а затем и ОП хлореллы.

Полевое обследование

По результатам испытания на химический состав проб воды (табл. 2) выявлено превышение ПДК р.х. по хлорид-ионам в 17,2 раз (ПДК 300 мг/дм); ПДК р.х. по сульфат-ионам в 15,6 раз (ПДК 100 мг/дм); по концентрации сухого остатка в 11,1 раз (ПДК 1000 мг/дм); ПДК р.х. по нефтепродуктам в 7,4 раз (ПДК 0,05 мг/дм).

Таблица 2
Table 2

Химический состав воды пруда-приемника в истоке реки Одиновской
Chemical composition of water in the receiving pond at the source of the Odinovskaya River

Наименование показателя	Единица измерений	Результат
Водородный показатель	ед. pH	(7,0±0,2), Р=0,95
Аммоний	мг/дм ³	менее 0,5
Хлорид-ион	мг/дм ³	5176±518

Экология и природопользование
Бузмаков С.А., Черемных А.В.

Окончание табл. 2

Наименование показателя	Единица измерений	Результат
Сульфат-ион	мг/дм ³	1556±156
Нитрат-ион	мг/дм ³	менее 0,20
Массовая концентрация нитрит-ионов	мг/дм ³	0,0282±0,0056
Массовая концентрация фосфат-ионов	мг/дм ³	0,141±0,023
Массовая концентрация общего железа	мг/дм ³	менее 0,05
Массовая концентрация сухого остатка	мг/дм ³	(11112±778), Р=0,95
АПАВ	мг/дм ³	0,040±0,014
Массовая концентрация нефтепродуктов	мг/дм ³	(0,369±0,080), Р=0,95

Основной источник сульфатов в поверхностных водах происходит от процессов химического выветривания серосодержащих минералов, в частности гипса. Сухой остаток большей частью отражает общее содержание растворенных неорганических веществ в воде.

Характерно для эксплуатации нефтяного месторождения увеличение концентрации в водоемах хлоридов и нефтепродуктов. Более серьезные загрязнения обнаруживаются на старых месторождениях, которые находятся в стадии поддержания пластового давления.

В таблице 3 представлены результаты исследования по валовому содержанию химических элементов в донных отложениях рек Одиновской и Ирень.

Таблица 3
Table 3

Валовое содержание химических элементов в донных отложениях рек Одиновской и Ирень
Gross content of chemical elements in bottom sediments of the Odinovskaya and Iren rivers

№ пробы	Sr, мг/кг	Pb, мг/кг	As, мг/кг	Zn, мг/кг	Ni, мг/кг	Co, мг/кг	Fe, мг/кг	Mn, мг/кг	Cr, мг/кг	V, мг/кг	Ti, мг/кг
6 (фон)	85,74	17,86	7,05	71,20	84,18	45,67	64261,6	537,5	167,9	290,6	17835,9
1	135,38	16,18	14,05	16,25	7,34	27,39	37895,97	656,15	229,01	83,85	9278,51
2	38,90	13,55	12,71	12,70	26,05	107,77	7885,67	587,00	171,55	45,92	6793,05
3	144,73	26,01	17,26	41,90	20,82	29,47	8459,51	177,48	90,64	10,66	7098,78
4	334,03	45,43	11,25	36,85	18,11	48,43	9049,69	410,31	127,89	145,72	7802,56
5	232,12	68,20	14,91	30,82	21,86	48,92	18583,58	362,43	228,50	10,14	7643,62

В пруде-приемнике (п. 1), по сравнению с нижележащим прудом (п. 2), выражено накопление стронция, железа, хрома и ванадия. Группа элементов, состоящая из свинца, мышьяка, цинка, марганца и титана, также не так выражена, но имеет некоторый тренд к аккумуляции. Наоборот, никель и кобальт мигрируют ниже по течению реки без накопления в пруде-приемнике.

Составлены ряды химических элементов по валовому содержанию в донных отложениях рек Ирень и Одиновской по убыванию их концентрации в донных отложениях:

- 1: Fe>Ti>Mn>Cr>Sr>V>Co>Zn>Pb>As>Ni;
- 2: Fe>Ti>Mn>Cr>Co>V>Sr>Ni>Pb>As>Zn;
- 3: Fe>Ti>Mn>Sr>Cr >Zn>Co>Pb>Ni>As>V;
- 4: Fe>Ti>Mn>Sr>V>Cr>Co>Pb>Zn>Ni>As;
- 5: Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>Pb>Co>Zn>As>Ni>V;
- 6: Fe>Ti>Mn>V>Cr>Sr>Ni>Zn>Co>Pb>As (Фон субрегиональный).

В донных отложениях всех проб в большей степени характерно преобладание макроэлементов Fe>Ti>Mn.

Донные осадки в пруде-приемнике истока р. Одиновской содержат такой геохимический ряд микроэлементов: Cr>Sr>V>Co>Zn>Pb>As>Ni.

Хром, стронций, кобальт занимают стабильное положение в геохимическом ряду.

Значение ванадия изменяется от первой позиции среди микроэлементов в пробах отложений р. Ирень до последней в среднем течении малой р. Одиновской. Положение цинка, свинца также довольно лабильно. Никель и мышьяк, как правило, занимают последние позиции.

Хром, никель и мышьяк относят к опасным элементам, которые часто присутствуют в нефти [4].

Были рассчитаны коэффициенты концентрации и рассеивания. По полученным результатам построены ряды накопления и рассеяния химических элементов.

Река Ирень. Субрегиональный фон (6 пробы),

KK=Ti_(4,6)>Co_(2,6)>V_(2,4)>Cr_(1,8)>Ni_(1,7)>Fe_(1,6)>As_(1,2)>Pb_(1,05);

KP=Zn_(1,05)>Mn_(1,4)>Sr_(3,1).

Техногенный пруд в истоке (1 пробы),

Экология и природопользование
Бузмаков С.А., Черемных А.В.

KK= As (2,5) > Cr (2,48) > Ti (2,37) > Co (1,6);

KP= Pb (1,05) > Fe (1,07) > Mn (1,17) > V (1,4) > Sr (1,9) > Zn (4,6) > Ni (6,8).

Выход из техногенного пруда в истоке (2 пробы),

KK= Co (6,3) > As (2,3) > Cr (1,9) > Ti (1,7);

KP= Pb (1,25) > Mn (1,3) > Ni (1,9) > V (2,6) > Fe (5,1) > Zn (5,9) > Sr (6,9).

Среднее течение (3 пробы),

KK= As (3,1) > Ti (1,8) > Co (1,7) > Pb (1,53);

KP= Cr (1,39) > Zn (1,78) > Sr (1,8) > Ni (2,4) > Mn (4,3) > Fe (4,8) > V (11,4).

Среднее течение (4 пробы),

KK= Co (2,8) > Pb (2,7) > As (2,1) > Ti (2,01) > Cr (1,39) > Sr (1,27);

KP= Mn (1,8) > Zn (2,03) > Ni (2,76) > Fe (4,5).

Нижнее течение (5 пробы),

KK= Pb (4,01) > Co (2,8) > As (2,6) > Cr (2,5) > Ti (1,9);

KP= Mn (2,2) > Zn (2,4) > Fe (4,7) > V (11,9).

Коэффициенты концентрации и рассеяния показывают, как характеризуется распространенность химических элементов в донных отложениях. Для фоновой пробы присущее рассеивание Mn и Sr, остальные исследуемые элементы аккумулируются, содержание Zn и Pb приближено к кларку. В 1–5 пробах аккумулируются As, Co и Ti, рассеиваются Zn и Mn.

В таблице 4 рассчитаны концентрации химических элементов в долях от регионального фонового значения в донных осадках р. Ирень.

Таблица 4
Table 4

Концентрации химических элементов в донных отложениях в р. Одиновской,

в долях от фонового значения, кларка, ПДК для почв

Concentrations of chemical elements in bottom sediments in the Odinovskaya River,
in fractions of the background value, clarke, MAC for soils

№ пробы	Концентрации химических элементов, в долях от фонового значения										
	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti
Фон (р. Ирень)											
1	1,58	0,91	1,99	0,23	0,09	0,60	0,59	1,22	1,36	0,29	0,52
2	0,45	0,76	1,80	0,18	0,31	2,36	0,12	1,09	1,02	0,16	0,38
3	1,69	1,46	2,45	0,59	0,25	0,65	0,13	0,33	0,54	0,04	0,40
4	3,90	2,54	1,60	0,52	0,22	1,06	0,14	0,76	0,76	0,50	0,44
5	2,71	3,82	2,11	0,43	0,26	1,07	0,29	0,67	1,36	0,03	0,43
Кларк по Н.А. Григорьеву											
1	0,50	0,98	2,51	0,22	0,15	1,61	0,93	0,85	2,49	0,69	2,38
2	0,14	0,80	2,27	0,17	0,52	6,34	0,19	0,76	1,86	0,38	1,74
3	0,54	1,53	3,08	0,56	0,42	1,73	0,21	0,23	0,99	0,09	1,82
4	1,24	2,67	2,01	0,49	0,36	2,85	0,22	0,53	1,39	1,20	2,00
5	0,86	4,01	2,66	0,41	0,44	2,88	0,46	0,47	2,48	0,08	1,96
ПДК											
1	-	0,51	7,03	-	-	-	-	0,44	-	0,56	-
2	-	0,42	6,36	-	-	-	-	0,39	-	0,31	-
3	-	0,81	8,63	-	-	-	-	0,12	-	0,07	-
4	-	1,42	5,63	-	-	-	-	0,27	-	0,97	-
5	-	2,13	7,46	-	-	-	-	0,24	-	0,07	-
Фон Кунгурской лесостепи (для почв)											
1	0,57	1,07	1,83	0,29	0,16	1,13	-	-	1,82	1,33	-
2	0,16	0,90	1,65	0,23	0,56	4,45	-	-	1,36	0,73	-
3	0,61	1,72	2,24	0,75	0,45	1,22	-	-	0,72	0,17	-
4	1,40	3,01	1,46	0,66	0,39	2,00	-	-	1,02	2,31	-
5	0,97	4,52	1,94	0,55	0,47	2,02	-	-	1,81	0,16	-

При анализе полученных данных и сравнении результатов с эталонами были выявлены наиболее серьезные отклонения от уровня фона в Ирени, кларка и ПДК фона в Кунгурской лесостепи для почв (табл. 4).

По сравнению с фоновым показателем (р. Ирень) отмечено превышение мышьяка, свинца и стронция в 1–2 раза.

Экология и природопользование
Бузмаков С.А., Черемных А.В.

По сравнению с кларком, по Григорьеву Н.А., наблюдается превышение кобальта, хрома, титана и мышьяка в 2–3 раза.

По сравнению с гигиеническими нормативами отмечается превышение мышьяка в 5–8 раз. В части проб есть повышенные концентрации свинца.

Сравнивая с местным фоновым показателем в Кунгурской лесостепи (для почв), отмечается превышение содержания, аккумуляция свинца, мышьяка, хрома и кобальта.

Наибольшей степенью превышения концентрации характеризуется мышьяк. Данный химический элемент включен в группу химических элементов первого класса опасности.

Биотестирование проводилось с водными пробами из р. Одиноской (1–5) и фоновой из р. Ирень (6 проба) (рис. 13).

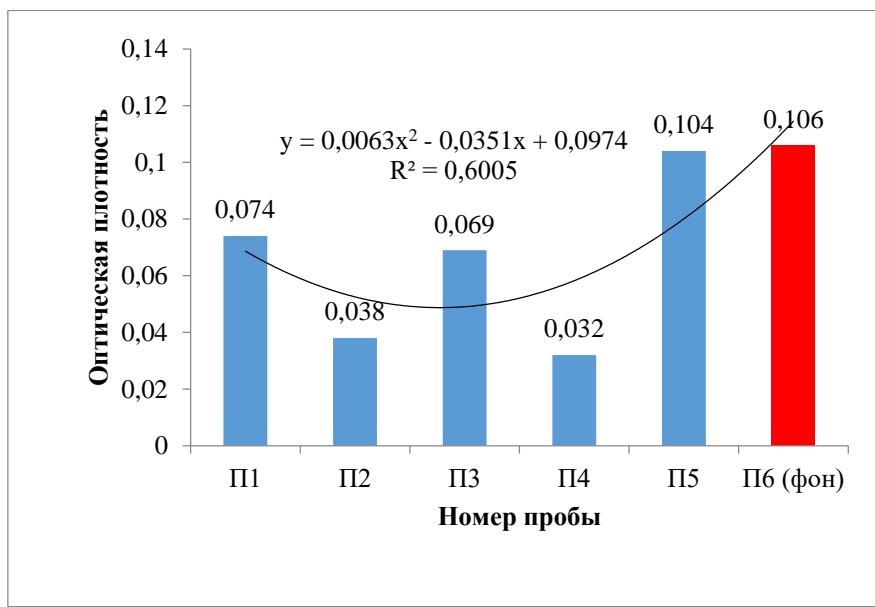


Рис. 13. Сравнение оптической плотности проб воды П1-П5 с фоновым показателем (П6)
Fig. 13. Comparison of the optical density of water samples P1-P5 with the background indicator (P6)

Исток реки представляет собой техногенный водоем. В верхнем и среднем течении малой реки наблюдается наименьшая по сравнению с этим прудом и р. Ирень ОП хлореллы. В нижнем течении (П5) водоток приобретает близкие к р. Ирени свойства.

По результатам биотестирования донных отложений (рис. 14) нужно констатировать, что аккумуляция углеводородов в осадках техногенного пруда (П1) позволяет увеличивать плотность хлореллы в водной вытяжке. Донные отложения в верхнем и среднем течении р. Одиноской являются более богатой питательной средой, чем водные пробы. В нижнем течении и в р. Ирень, наоборот, донные отложения заметно уступают в позитивном влиянии водам.

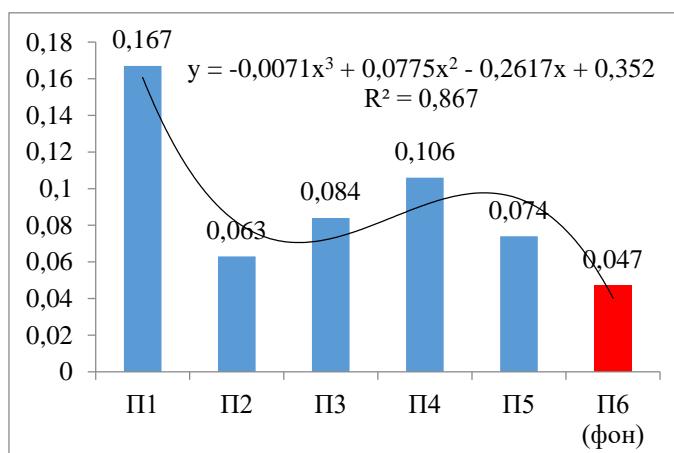


Рис. 14. Сравнение оптической плотности проб донных отложений 1–5 с фоновым показателем (П6)
Fig. 14. Comparison of the optical density of bottom sediment samples P1-5 with the background indicator (P6)

Экология и природопользование
Бузмаков С.А., Черемных А.В.

Можно предположить, что нефтепродукты и другие загрязняющие вещества, попадающие в реку, могут оседать из водотока в донные отложения. В исследованиях Хаматовой А.В. было проведено изучение р. Каменки, протекающей по территории нефтяного месторождения. В самом истоке реки показатель ОП наибольший – 0,104. По результатам биотестирования донных отложений в р. Каменке, при расчете процента отклонения значений ОП от контроля почти все пробы характеризуются снижением средней величины ОП [18, 19].

По данным многих исследований, в реках, впадающих в Ирень, в том числе в Каменку, отмечается высокое содержание нефтепродуктов. Для них характерно стабильное загрязнение поверхностных вод нефтепродуктами из-за активного развития нефтедобывающей отрасли. Согласно материалам научной экспедиции, в июле 2018 г. в 7 из 45 исследованных образцов воды было обнаружено содержание нефтепродуктов выше 10,0 мг/дм³, в 3 образцах содержалось более 1 мг/дм³ и лишь в 4 образцах уровень нефтепродуктов не превышал ПДК. Концентрация нефтепродуктов снижается по мере движения от верховьев к устью реки [9].

Качество донных отложений на территории нефтяного месторождения прямо или косвенно связано с различными аспектами техногенеза, которые вносят изменения в экосистему. Водная среда и донные отложения истоков р. Одиновской обогащены нефтяной органикой, что, судя по лабораторным экспериментам, благоприятно оказывается на жизнедеятельности хлореллы.

Водная лотическая экосистема в естественных условиях в истоке и устье имеет более выраженную гетеротрофность за счет привнесенного органического вещества, а в среднем течении автотрофность. Эксперименты и полевые отборы с использованием хлореллы показали, что техногенные потоки углеводородов усиливают этот тренд в истоке, который отчасти превращен в лентическую экосистему.

Выводы

Из экспериментов следует, что увеличение дозы нефти положительно влияет как на рост оптической плотности, так и относительного показателя замедленной флуоресценции хлореллы, что свидетельствует о том, что нефтяные углеводороды являются питательным субстратом.

В замкнутых условиях эксперимента с течением времени происходит уменьшение количества питательных веществ, что приводит к снижению сначала фотосинтетической активности клеток, а затем и к снижению роста хлореллы.

В карстовом районе для эксплуатации нефтяного месторождения происходит увеличение концентрации в водоемах хлоридов и нефтепродуктов. Создаются условия для развития техногенной битумизации.

Изучение валового содержания химических элементов в донных отложениях малой реки выявило, что техногенная битумизация формирует геохимический ряд: Fe>Ti>Mn>Cr>Sr>V>Co>Zn>Pb>As>Ni.

Донные отложения в верхнем и среднем течении р. Одиновской являются более богатой питательной средой, чем водные пробы. В нижнем течении и в р. Ирень, наоборот, донные отложения заметно уступают в позитивном влиянии водам.

Эксперименты и полевые отборы с использованием хлореллы дают основание утверждать, что техногенные потоки углеводородов усиливают гетеротрофность экосистемы истока малой реки. Увеличение плотности хлореллы в пробах при тестировании часто может диагностировать техногенное органическое загрязнение.

Для более точного выявления техногенных процессов с помощью биотестирования хлореллы необходимо достоверно определить субрегиональные, региональные и местные (карстовые) фоновые параметры.

Библиографический список

1. Беднаржевский С.С., Захариков Е.С., Кузнецов Д.И., Мамедов Р.М., Пушкирев Н.С., Соколов В.А., Суздальцев В.А., Шевченко Н.Г. Экологическая оценка качества водных объектов в районах нефтедобычи методами биотестирования // Сибирский экологический журнал. 2009. Т. 16, № 3. С. 337–339. EDN: KKPAMR
2. Бузмаков С.А., Андреев Д.Н., Назаров А.В. и др. Разработка экологических критериев для допустимого содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах Пермского края // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25, № 9. С. 62–67. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-9-62-67 EDN: YYDDOT
3. Валулина А.М. Анализ наиболее популярных тест-объектов для биотестирования сточных и природных вод // Научно-практические исследования. 2020. № 8–2 (31). С. 8–10. EDN: GEZDXY
4. Дзюба Е.А. Определение местного фонового содержания некоторых макро- и микроэлементов в почвах Пермского края // Географический вестник. 2021. № 1 (56). С. 95–108. DOI: 10.17072/2079-7877-2021-1-95-108 EDN: UBAGAW
5. Дзюба Е.А. Природно-техногенное геохимическое районирование Пермского края // Географический вестник=Geographical Bulletin. № 3 (70). С. 139–151. DOI: 10.17072/2079-7877-2024-3-139-151 EDN: ISYVFO
6. Казаченко А.В., Васюк А.Е., Есякова О.А. Оценка состояния окружающей среды методом биотестирования // Дальневосточная весна – 2021: материалы 19-й Международной научно-практической конференции по проблемам экологии и безопасности, Комсомольск-на-Амуре, 30–31 марта 2021 года. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. С. 64–67. DOI: 10.17084/978-5-7765-1472-2_2021_64 EDN: REGAXN
7. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. № 2. С. 7–17. EDN: UCGNHL
8. Касимов Н.С., Безбердая Л.А., Лычагин М.Ю., Ткаченко А.Н., Котвица М.А., Малыгин Е.В., Черникова О.В. Экогеохимия городов и рек Крыма (Труды Крымской комплексной экспедиции). М., 2022. Вып. 1. 384 с.

Экология и природопользование
Бузмаков С.А., Черемных А.В.

9. Килин Ю.А., Минькович И.И. Особенности нефтяного загрязнения подземных и поверхностных вод в карстовых районах юга Пермского края // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2021. Т. 41, № 4. С. 256–262. EDN: OALMQP
10. ПНДФ Т 14.1:2:3:4.10-04; Т 16.1:2:2.3:3.7-04. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer).
11. ПНД Ф Т 14.1:2:4.16-09; Т 16.1:2:3:3.14-09. Методика измерений относительного показателя замедленной флуоресценции культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления.
12. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: МГУ, 1998. 376 с.
13. Соромотин А.В., Кудрявцев А.А., Ефимова, А.А., Гертер О.В., Фефилов Н.Н. Фоновое содержание тяжелых металлов в воде малых рек Надым-Пурровского междуречья // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2019. № 2. С. 48–55. DOI: 10.31857/S0869-78092019248-55 EDN: TWTCHQ
14. Терехова В.А. Обзор о «весомости» биотических индексов в оценке экологического риска и нормировании // Экологическое нормирование, сертификация и паспортизация почв как научная основа рационального землепользования: междунауч.-практ. конф. 30 сентября – 01 октября 2010 года. М.: МАКС Пресс, 2010. С. 161–164. EDN: XRSGFZ
15. Терехова В.А. Биотестирование почв: подходы и проблемы // Почвоведение. 2011. № 2. С. 190–198. EDN: NDJDRT
16. Фомин Г.С., Фомин А.Г. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. М., 2001. 304 с.
17. ФР.1.31.2011.09286 (М-049-П/10) Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв рентгенофлуоресцентным методом.
18. Хаматова А.В. Оценка качества вод и донных отложений р. Каменка методом биотестирования// Антропогенная трансформация природной среды. 2023. Т. 9, № 1. С. 54–64. DOI: 10.17072/2410-8553-2023-1-54-64 EDN: SGROUPQ
19. Хаматова А.В. Оценка техногенных изменений состояния экосистемы р. Каменка методом биотестирования с применением в качестве тест-объектов *Daphnia magna* Straus и *Chlorella vulgaris* Beijer // 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 / под ред. С.А. Бузмакова. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2023. С. 522–526. EDN: PVOYLP
20. Ahamad M.I., Song J., Sun H., Wang X., Mehmood M.S., Sajid M., Su P., Khan A.J. Contamination Level, Ecological Risk, and Source Identification of Heavy Metals in the Hyporheic Zone of the Weihe River // China. Int. J. Environ. Res. Public Health. 2020. No. 17 (3). P. 1070. DOI: 10.3390/ijerph17031070 EDN: GAUBIP
21. Bingari H.S., Gibson A., Teeuw R. Sorption modelling of crude oil-contaminated soils using a derived spectral index// Geoderma. 2024. Vol. 447. P. 116935. DOI: 10.1016/j.geoderma.2024.116935 EDN: NIWITK
22. Chen X., Gong X. Electrochemically fast preparation of superhydrophobic copper mesh for high-efficiency oil spill adsorption and oil-water separation// Journal of Hazardous Materials. 2024. Vol. 472. P. 134465. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.134465 EDN: UIKRQV
23. Kramer K.J., Botterweg J. Aquatic biological early warning systems: an overview // Bioindicators and environmental management. London: Academic Press, 1991. P. 95–126.
24. Liu H., Su G., Okere C.J., Wang X., Wu T., Zheng L., Li G., Cai Y. Working fluid-induced formation damage evaluation for commingled production of multi-layer natural gas reservoirs with flow rate method // Energy. 2022. Vol. 239. С. 122107. DOI: 10.1016/j.energy.2021.122107 EDN: SQTXAM
25. Li G., Wang L., Zhen Q., Zheng J. Petroleum induces soil water repellency and impedes the infiltration and evaporation processes in sandy soil// Journal of Hydrology. 2024. Vol. 643. P. 131990. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2024.131990 EDN: JIEXXD
26. Liwarska-Bizukojc E. Evaluation of Ecotoxicity of Wastewater from the Full-Scale Treatment Plants // Water, 2022. No. 14. P. 3345. DOI: 10.3390/w14203345 EDN: CPFFTF
27. Maxam G., Rila J.-P., Dott W., Eisentraeger A. Use bioassays for assessment of water-extractable ecotoxic potential of soil // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2000. No. 45. P. 240–246.
28. Pandard P., Devillers J., Charissou A.M., Poulsen V. Selecting a battery of bioassays for ecotoxicological characterization of wastes // Science of the total environment. 2006. Vol. 363. P. 114–125.
29. Storey M.V., Van der Gaag B., Burns B.P. Advances in on-line drinking water quality monitoring and early warning systems // Water Research. 2011. No. 45 (2). P. 741–747.
30. Wang B., Zhang H., Yang X., Tian T., Bai Zh. Facile construction of multifunctional bio-aerogel for efficient separation of surfactant-stabilized oil-in-water emulsions and co-existing organic pollutant // Journal of Hazardous Materials. 2024. Vol. 461. P. 132434. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.132434 EDN: VIYUSP

References

1. Bednarzhevsky S.S., Zakharikov E.S., Kuznetsov D.I., Mamedov R.M., Pushkarev N.S., Sokolov V.A., Suzdaltsev V.A., Shevchenko N.G. Ecological assessment of the quality of water bodies in oil production areas using biotesting methods // Siberian Ecological Journal, 2009. Vol. 16. No. 3. Pp. 337–339.
2. Buzmakov S.A., Andreev D.N., Nazarov A.V. et al. Development of environmental criteria for the permissible content of oil and its transformation products in soils of the Perm Territory // Ecology and Industry of Russia. 2021. Vol. 25. No. 9. Pp. 62–67. DOI 10.18412/1816-0395-2021-9-62-67.
3. Valiullina A. M. Analysis of the most popular test objects for biotesting of wastewater and natural waters // Scientific and practical research. 2020. No. 8-2 (31). Pp. 8-10.]
4. Dzyuba E. A. Determination of local background content of some macro- and microelements in soils of the Perm Territory // Geographical Bulletin. 2021. No. 1 (56). Pp. 95–108. DOI 10.17072/2079-7877-2021-1-95-108.
5. Dzyuba, E. A. Natural and technogenic geochemical zoning of the Perm Territory // Geographical Bulletin, (3 (70), 139–151. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2024-3-139-151>

Экология и природопользование
Бузмаков С.А., Черемных А.В.

6. Kazachenko A. V., Vasyuk A. E., Esyakova O. A. Assessment of the state of the environment by biotesting // Far Eastern Spring - 2021: Proceedings of the 19th International Scientific and Practical Conference on Ecology and Safety, Komsomolsk-on-Amur, March 30–31, 2021. Komsomolsk-on-Amur: Komsomolsk-on-Amur State University, 2021. Pp. 64–67. DOI 10.17084/978-5-7765-1472-2_2021_64.
7. Kasimov N.S., Vlasov D.V. Clarks of chemical elements as standards of comparison in ecogegeochemistry // Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography. 2015. No. 2.
8. Kasimov N.S., Bezberdaya L.A., Lychagin M.Yu., Tkachenko A.N., Kotvitsa M.A., Malygin E.V., Chernitsova O.V. Eco-geochemistry of cities and rivers of Crimea (Proceedings of the Crimean complex expedition. Issue 1). –M.: 2022. 384 p.].
9. Kilin Yu.A., Minkevich I.I. Features of oil pollution of ground and surface waters in karst areas of the south of Perm Krai // Geology and useful minerals of the Western Urals. 2021. Vol. 41. No. 4. Pp. 256–262.
10. PNDF T 14.1:2:3:4.10-04; T 16.1:2:2.3:3.7-04. Method for measuring the optical density of chlorella algae culture (*Chlorella vulgaris Beijer*)
11. PND FT T 14.1:2:4.16-09; T 16.1:2:3:3.14-09. Methodology for measuring the relative index of delayed fluorescence of the chlorella algae culture (*Chlorella vulgaris Beijer*) to determine the toxicity of drinking, fresh natural wastewater, aqueous extracts from soils, soils, sewage sludge, industrial and consumer waste.
12. Solntseva N.P. Oil production and geochemistry of natural landscapes. Moscow: Moscow State University. 1998. 376 p.
13. Soromotin A.V., Kudryavtsev A.A., Efimova, A.A., Gerter O.V., Fefilov N.N. Background content of heavy metals in the water of small rivers of the Nadym-Purovsky interfluvium // Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology, 2019. No. 2. P. 48-55.
14. Terekhova V. A. Review of the "weight" of biotic indices in environmental risk assessment and standardization // Environmental standardization, certification and passportization of soils as a scientific basis for rational land use: Int. scientific-practical. conf. September 30 - October 1, 2010. Moscow: MAKS Press, 2010. Pp. 161-164.
15. Terekhova V. A. Soil biotesting: approaches and problems // Soil science, 2011. No. 2. Pp. 190-198.
16. Fomin G. S., Fomin A. G. Soil. Quality control and environmental safety according to international standards. Moscow, 2001. 304 p.
17. FR.1.31.2011.09286 (M-049-P/10) Methodology for measuring the mass fraction of metals and metal oxides in powder soil samples using the X-ray fluorescence method.
18. Khamatova AV Assessment of the quality of waters and bottom sediments of the Kamenka River by the biotesting method // Anthropogenic transformation of the natural environment. 2023. Vol. 9, No. 1. Pp. 54-64.
19. Khamatova AV Assessment of technogenic changes in the state of the Kamenka River ecosystem by the biotesting method using *Daphnia magna* Straus and *Chlorella vulgaris Beijer* as test objects // Environmental safety in the context of anthropogenic transformation of the natural environment: Proceedings of the All-Russian scientific conference of young scientists dedicated to the memory of N.F. Reimers and F.R. Shtilmarka, Perm, April 20-21, 2023 / Edited by S.A. Buzmakov. Perm: Perm State National Research University, 2023. Pp. 522-526.
20. Ahamed, M.I., Song, J., Sun, H., Wang, X., Mahmood, M.S., Sajid, M., Su, P., Khan, A.J. Contamination Level, Ecological Risk, and Source Identification of Heavy Metals in the Hyporheic Zone of the Weihe River // China. Int. J. Environ. Res. Public Health, 2020. 17 (3), p. 1070. <https://doi.org/10.3390/ijerph17031070>.
21. Bingari H.S., Gibson A., Teeuw R. Sorption modeling of crude oil-contaminated soils using a derived spectral index // Geoderma. 2024. T. 447. P. 116935.
22. Chen X., Gong X. Electrochemically fast preparation of superhydrophobic copper mesh for high-efficiency oil spill adsorption and oil-water separation// Journal of Hazardous Materials. 2024. T. 472. C. 134465.
23. Kramer K. J., Botterweg J. Aquatic biological early warning systems: an overview // Bioindicators and environmental management. London: Academic Press. 1991. P. 95-126.
24. Liu H., Su G., Okere C.J., Wang X., Wu T., Zheng L., Li G., Cai Y. Working fluid-induced formation damage evaluation for commingled production of multi-layer natural gas reservoirs with flow rate method// Energy. 2022. T. 239. C. 122107.
25. Li G., Wang L., Zhen Q., Zheng J. Petroleum induces soil water repellency and impedes the infiltration and evaporation processes in sandy soil// Journal of Hydrology. 2024. T. 643. C. 131990.
26. Liwarska-Bizukoje E. Evaluation of Ecotoxicity of Wastewater from the Full-Scale Treatment Plants // Water, 2022. №14. p. 3345.
27. Maxam G., Rila J.-P., Dott W. and Eisentraeger A. Use bioassays for assessment of water-extractable ecotoxic potential of soil // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2000. №45. P. 240-246.
28. Pandard P., Devillers J., Charissou A. M., Poulsen, V. Selecting a battery of bioassays for ecotoxicological characterization of wastes // Science of the total environment, vol. 363. 2006. P. 114–125.
29. Storey M. V., Van der Gaag, B., Burns, B. P. Advances in on-line drinking water quality monitoring and early warning systems // Water Research. 2011. 45(2), P. 741–747].
30. Wang B., Zhang H., Yang X., Tian T., Bai Zh. Facile construction of multifunctional bio-aerogel for efficient separation of surfactant-stabilized oil-in-water emulsions and co-existing organic pollutant // Journal of Hazardous Materials. 2024. T. 461. P. 132434.

Статья поступила в редакцию: 10.03.25, одобрена после рецензирования: 25.03.25, принята к опубликованию: 12.09.25.

The article was submitted: 10 March 2025; approved after review: 25 March 2025; accepted for publication: 12 September 2025.

Экология и природопользование
Бузмаков С.А., Черемных А.В.

Информация об авторах

Сергей Алексеевич Бузмаков

доктор географических наук, профессор,
заведующий кафедрой биогеоценологии
и охраны природы,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет;
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Information about the authors

Sergei A. Buzmakov

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head
of the Department of Biogeocenology and Environmental
Protection, Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

e-mail: lep@psu.ru

Анастасия Владимировна Черемных

Пермский государственный
национальный исследовательский университет;
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Anastasia V. Cheremnykh

Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

Вклад авторов

Бузмаков С.А. – идея, организация полевых работ, постановка задач исследования, анализ данных, подготовка рукописи статьи.

Черемных А.В. – проведение полевых работ и лабораторных экспериментов, анализ данных.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

Sergei A. Buzmakov – the idea; formulation of research objectives; data analysis; preparation of the manuscript.

Anastasia V. Cheremnykh – field work and laboratory experiments; data analysis.

The authors declare no conflict of interest.