

РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Оригинальная научная (исследовательская) статья
УДК 57.084.1

Оценка качества вод и донных отложений р. Каменка методом биотестирования

Алина Вадимовна Хаматова

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

khama99@mail.ru

Аннотация. Река Каменка, протекающая по территории Кокуйского нефтяного месторождения Пермского края в результате интенсивной нефтедобычи и интенсивного развития карста, претерпела серьезные техногенные изменения, которые проявляются в повышенном содержании в воде хлоридов и нефтепродуктов. Нами была проведена оценка экологического состояния экосистемы реки Каменки методом биотестирования, с применением в качестве тест-объектов *Daphnia magna* Straus и *Chlorella vulgaris* Beijer. Исследовано 8 проб воды и 11 проб донных отложений. Большая часть исследованных точек отбора проб, расположенных в истоке реки, отличается наличием выраженных нефтепроявлений, резкого запаха сероводорода, белых хлопьев и нехарактерным для природных вод ярко-голубым цветом. Приведены процентные отклонения значений оптической плотности в исследуемых пробах от фонового значения, и показатели токсичной кратности разбавления (ТКР) рассчитанные от контрольных (на дистиллированной воде) значений. Во всех исследуемых пробах воды наблюдается стимулирование роста водоросли *Chlorella vulgaris* по сравнению с фоном, наибольший процент отклонения значения оптической плотности от фона – 112% в пробе № 1, наименьший в пробе № 5 – 26%. В пробах донных отложений № 1 и № 4, значения оптической плотности значительно превышают фоновый показатель на 121% и 27% соответственно. Остальные пробы донных отложений характеризовались снижением оптической плотности по сравнению с фоном от 17% до 55%. ТКР исследуемых проб воды колеблется от 6 – в р. Ирени (фон), до 26 – в точке №8, в пробах донных отложений наименьшее значение ТКР в истоке реки – 0,6, наибольшее – в пробе № 8. Сравнение оптической плотности исследуемых проб с контрольным показателем (на дистиллированной воде) считаем неприемлемым, поскольку результаты вводят в заблуждение и противоречат действительности. Для оценки токсичности природных и природно-техногенных вод перспективным считаем использование фоновых показателей. Результаты с применением в качестве тест-объекта *Daphnia magna* показали нечувствительность данного организма к токсическому воздействию исследуемых проб. Максимальный процент гибели дафний в исследуемых пробах не превышал указанное в методике значение – 50 и более % гибели дафний.

Ключевые слова: техногенное воздействие, трансформация экосистем, тест-объект, *Daphnia magna*, *Chlorella vulgaris*, токсичная кратность разбавления (ТКР), оптическая плотность, река Ирень, Кокуйское нефтяное месторождение, карст

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 20-45-596018.

Для цитирования: Хаматова А.В. Оценка качества вод и донных отложений р. Каменка методом биотестирования // Антропогенная трансформация природной среды. 2023. Т. 9. № 1. С. 54–64.

SECTION 2. POLLUTION

Original Paper

Assessment of the quality of waters and bottom sediments of the Kamenka river by biotesting

Alina V. Khamatova

Perm State University, Perm, Russia

khama99@mail.ru

Abstract. The Kamenka River, which flows through the territory of the Kokuisky oil field in Perm Krai as a result of intensive oil production and the intensive karst spread, has undergone serious man-made changes, which are manifested in the increased content of chlorides and petroleum products in the water. We assessed the ecological state of the ecosystem of the Kamenka river by biotesting, using *Daphnia magna* Straus and *Chlorella vulgaris* Beijer as test objects. 8 water samples and 11 sediment samples were examined. Most of the studied sampling points located at the source of the river are distinguished by the presence of pronounced oil manifestations, a sharp smell of hydrogen sulfide, white flakes and a

bright blue color uncharacteristic of natural waters. The percentage deviations of the optical density values in the studied samples from the background value, and the indicators of the toxic dilution factor (TDF) calculated from the control (distilled water) values are given. In all the studied water samples, the growth of chlorella algae (*Chlorella vulgaris*) is stimulated in comparison with the background, the highest percentage of deviation of the optical density value from the background is 112% in sample № 1, the lowest in sample № 5 is 26%. In two samples of bottom sediments: № 1 and № 4, the optical density values significantly exceed the background indicator by 121 and 27%, respectively. The remaining samples of bottom sediments were characterized by a decrease in optical density compared to the background from 17 to 55%. The TDF of the studied water samples ranges from 6 – in Iren river (background), up to 26 – at point № 8, in samples of bottom sediments, the lowest value of TDF at the source of the river is 0.6, the highest is in sample № 8. Comparison of the optical density of the studied samples with the control indicator (on distilled water) is considered unacceptable, since the results are misleading and contradict reality. To assess the toxicity of natural and man-made waters, we consider the use of background indicators to be promising. The results with the use of *Daphnia magna* as a test object showed the insensitivity of this organism to the toxic effects of the studied samples. The maximum percentage of daphnia death in the test sample was 20% (8 surviving crustaceans out of 10), while the criterion of acute toxicity is the death of 50% or more daphnia.

Key words: technogenic impact, ecosystem transformation, test object, *Daphnia magna*, *Chlorella vulgaris*, toxic dilution factor (TDF), optical density, Iren River, Kokui oil field, karst

Acknowledgments: The reported study was funded by Russian Foundation for Basic Research (RFBR) and Perm Territory, project number 20-45-596018.

For citation: Khamatova, A., 2023. Assessment of the quality of waters and bottom sediments of the Kamenka river by biotesting. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 9(1), pp. 54–64. (in Russian)

Введение

Добыча природных ресурсов, в том числе и нефти, способствует ускорению процесса техногенного изменения экосистем, в ходе которого происходят изменения природных компонентов и комплексов. Трансформация проявляется в нарушении метаболизма, функционировании и структуры исходных природных комплексов, способствуя переходу их в результате смен состояний из ряда биогенных в ряд абиогенных [1].

В условиях техногенеза направленность потоков вещества переориентирована. Химические элементы при добыче полезных ископаемых из недр земли направляются с последующим их рассеянием по наземным природным комплексам. В этой связи достаточно важным представляется изучение процессов трансформации экосистем с целью установления направленности и динамики их развития в условиях техногенной нагрузки [2].

Объектом настоящего исследования является река Каменка, протекающая по территории Кокуйского нефтяного месторождения. Разработка месторождения ведется в сложных горно-геологических условиях, вызванных развитием карстовых процессов в нижнепермских кунгурских сульфатно-карбонатных отложениях. Отложения кунгурского яруса являются коллекторами высокой приемистости и интервалом низких гидростатических давлений, тем интервалом, где могут накапливаться углеводороды, мигрирующие с глубины [14]. Поверхность на большей части площади представляет собой слаборасчлененное плато, прорезанное редкой сетью глубоко врезанных эрозионно-карстовых долин и суходольных логов [10]. В долине реки Каменки и к югу от нее предполагается интенсивная нарушенность осадочного чехла линейными субвертикальными тектоническими трещинно-разрывными структурами, образующими меридиональную полосу шириной от 0,5 до 0,8 км [11].

В данном районе развиты воронки и провалы, карстовые озера и источники. Зачастую поверхностный

сток поглощается понорами, а карстовые каналы, расширенные вследствие растворения трещин и карры, повсеместно присутствуют на поверхности гипс-ангидритовых обнажений. Среди всех перечисленных форм карстовые воронки наиболее многочисленны [9, 20].

В связи с увеличением объемов и концентрации токсикантов в окружающей среде, существует острая необходимость в экспресс-анализе компонентов окружающей среды. На данный момент, оценка загрязнения природной среды токсикантами, производится преимущественно на основе результатов аналитической химии, но переход к более надежному экологическому контролю состояния окружающей среды возможен только при обязательном применении методов биотестирования, дающих возможность с большой достоверностью определить степень общей токсичности объекта исследования путем комплексной оценки воздействия комплекса ингредиентов и факторов на живые организмы [13].

Необходимо оценить техногенные изменения состояния экосистемы реки Каменки методами биотестирования, произвести отбор проб воды и донных отложений р. Каменка, исследовать экологическое состояние донных отложений и поверхностных вод р. Каменка с использованием тест-объектов: культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris*) и культуры низших ракообразных – дафний (*Daphnia magna*).

Материалы и методика

Методика проведения настоящего исследования состоит из трех этапов (рис. 1 / fig. 1):

1. Полевые работы, включающие в себя выбор мест отбора проб и непосредственно отбор проб воды и донных отложений.
2. Лабораторные работы – выбор тест-объектов для исследования и проведение биотестирования.
3. Камеральная обработка данных, в ходе которой были обобщены полученные результаты и сделаны заключения о токсичности исследуемых проб.

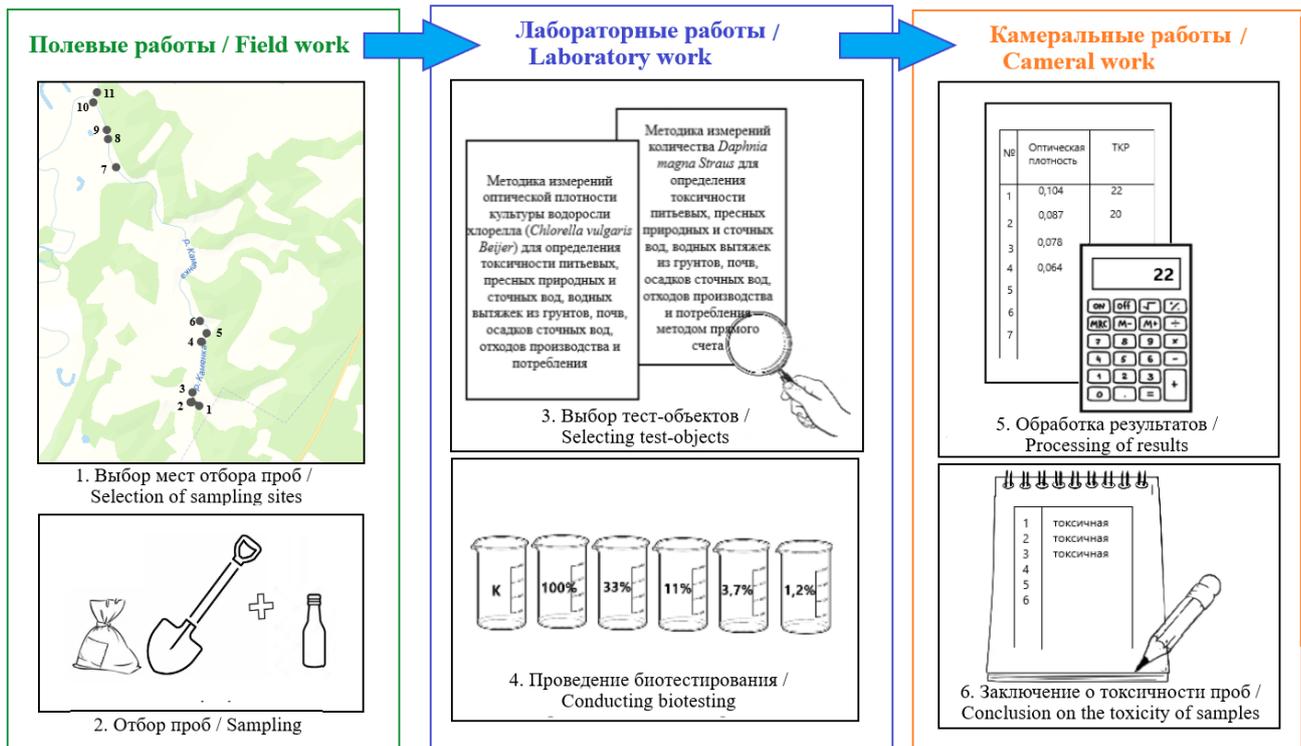


Рис. 1. Методика проведения исследования
Fig. 1. Research methodology

Полевая часть настоящего исследования проведена в 15 августа 2022 г. Из реки Каменки было отобрано 8 проб воды и 11 проб донных отложений.

Отбор, транспортировка и хранение проб воды и донных отложений осуществлялись в соответствии со следующими нормативными документами:

– ГОСТ 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб» [3];

– ГОСТ 17.1.5.04-81 «Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия» [6];

– Р 52.24.353-2012 «Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод» [17];

– ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность [5].

В таблице 1 / Table 1 представлена сводная информация по характеристике мест отбора проб в р. Каменка. Оценивается наличие и характер нефтепроявлений, хлопьев и осадка, запаха, а также прозрачность и цвет воды.

Таблица 1

Характеристика мест отбора проб р. Каменка

Table 1

Characteristics of sampling sites of the Kamenka river

№ Место отбора проб / Sampling location	Отобранные пробы* / Selected samples*	Оцениваемые показатели			
		Запах H ₂ S / H ₂ S smell	Нефтепроявления / Oil manifestations	Наличие хлопьев и осадка / Presence of flakes and sediment	Прозрачность, цвет / Transparency, color
1. Исток у скалы / The source under the rock	В+ДО // W+BS	+	Обильные нефтепроявления (на скале замазученные пятна) / Abundant oil manifestations (There are oil stains on the rock)	Обилие хлопьев и белого осадка на дне / Abundance of flakes and white sediment on the bottom	Прозрачная / transparent
2. Пруд у скалы / Pond by the rock	В+ДО // W+BS	+	На поверхности пруда темно-коричневые маслянистые пятна / There are dark brown oily spots on the surface of the pond	Обилие хлопьев и белого осадка на дне / Abundance of flakes and white sediment on the bottom	Мутная, зелено-голубого цвета / Muddy, green-blue color

№ Место отбора проб / Sampling location	Отборные пробы* / Selected samples*	Оцениваемые показатели			
		Запах H ₂ S / H ₂ S smell	Нефтепроявления / Oil manifestations	Наличие хлопьев и осадка / Presence of flakes and sediment	Прозрачность, цвет / Transparency, color
3. Русло в 45 м от истока / The riverbed is 45 m. from the source	В+ДО // W+BS	+	На поверхности маслянистые пятна / There are oily spots on the surface	Обилие хлопьев и белого осадка на дне / Abundance of flakes and white sediment on the bottom	Мутная, насыщенно-голубого цвета / Cloudy, rich blue color
4. Пруд с нефтеловушкой (выше по течению) / Pond with an oil trap (upstream)	В+ДО // W+BS	+	Умеренные нефтепроявления / Moderate oil manifestations	Обилие хлопьев и белого осадка на дне / Abundance of flakes and white sediment on the bottom	Мутная, насыщенно-голубого цвета / Cloudy, rich blue color
5. Пруд с нефтеловушкой (ниже по течению) / Pond with an oil trap (downstream)	В+ДО // W+BS	+	Умеренные нефтепроявления / Moderate oil manifestations	Обилие хлопьев и белого осадка на дне / Abundance of flakes and white sediment on the bottom	Мутная, насыщенно-голубого цвета / Cloudy, rich blue color
6. В 100 м ниже по течению от пруда / In 100 m. downstream from the pond	В+ДО // W+BS	+	–	–	Прозрачная / transparent
7. Усохший пруд / Shrunken pond	ДО//BS	–	–	–	–
8. Небольшой стоячий ручей в 630 м от устья / A small standing stream 630 m. from the mouth	В+ДО // W+BS	–	–	–	Прозрачная / transparent
9. Сухое русло в 600 м от устья / Dry riverbed 600 m from the mouth	ДО//BS	–	–	–	–
10. Устье р. Каменки / The mouth of the Kamenska river	ДО//BS	–	–	–	–
11. р. Ирень / Iren river	В+ДО // W+BS	–	–	–	Прозрачная / transparent

Примечание // Note:

В – пробы воды; ДО – пробы донных отложений // W – water samples; BS – samples of bottom sediments.

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

Процедура биотестирования проводилась в соответствии со следующими методиками:

1) «Методика измерений количества *Daphnia magna* для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления методом прямого счета». Она основана на определении смертности дафний при воздействии токсических веществ, присутствующих в исследуемой пробе, по сравнению с контрольной культурой в среде, не содержащей токсических веществ [15].

2) «Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris*) для

определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления». Методика основана на регистрации различий в величине оптической плотности тест-культуры водоросли хлорелла, выращенной на среде, не содержащей токсических веществ (контроль) и в тестируемых пробах вод и водных вытяжек (опыт), в которых эти вещества могут присутствовать [16].

В ходе камеральных работ, для проб со снижением величины оптической плотности на 20% были рассчитаны показатели токсичной кратности разбавления (ТКР). Сделаны заключения о токсичности проб воды и донных отложений.

Результаты и их обсуждение. В качестве фона для оценки токсичности проб были использованы образцы из р. Ирени, в качестве контроля – дистиллированная вода.

По результатам биотестирования проб воды и донных отложений с применением в качестве тест-объекта *Chlorella vulgaris*, был составлен картографический материал (рис. 2, 3 / fig. 2, 3). В связи с тем, что река

Каменка имеет достаточно большую протяженность, во избежание скученности всех символов, точки отбора проб на Каменке отображены на двух картах-врезках: у истока и у устья реки.

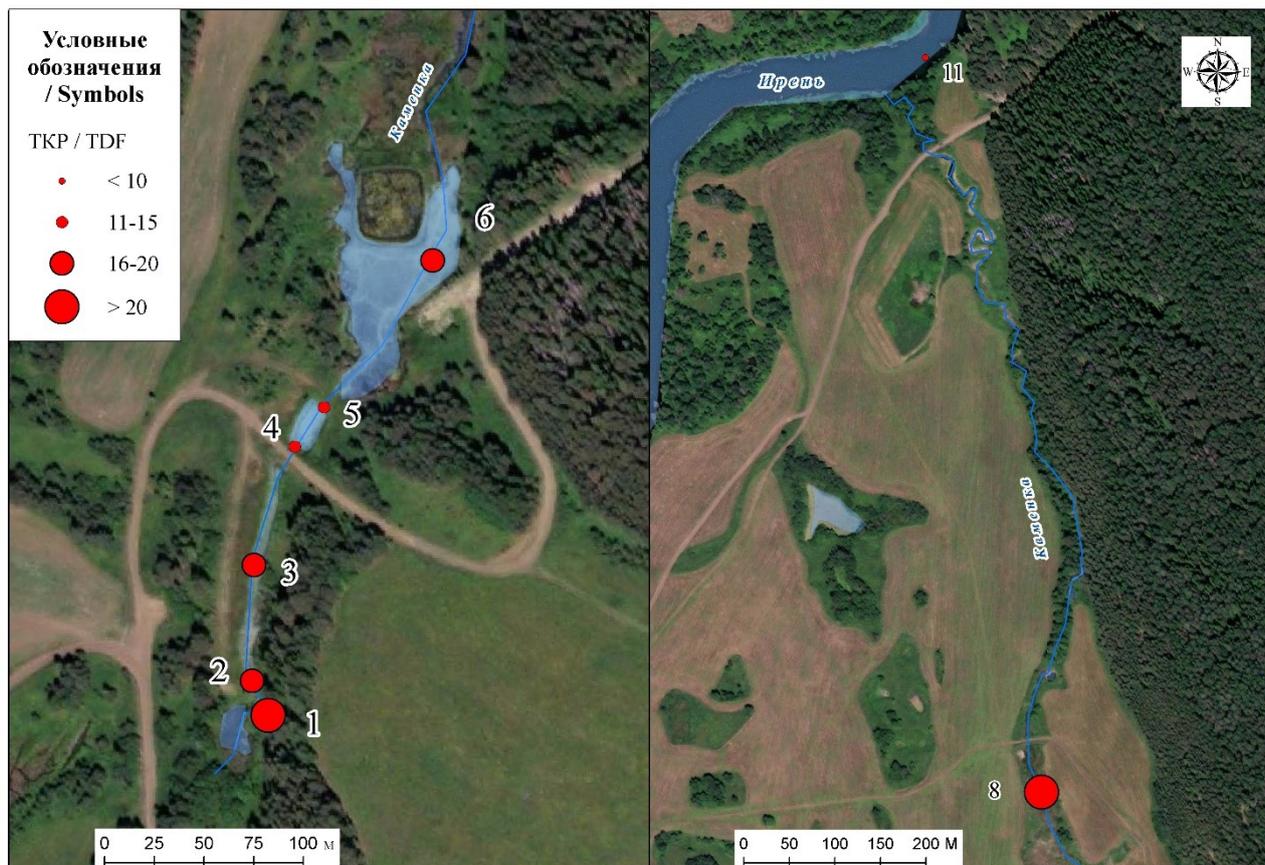


Рис. 2. Результаты биотестирования проб воды с применением *Chlorella vulgaris* в сравнении с контролем
Fig. 2. Results of bioassay of water samples using *Chlorella vulgaris* in comparison with control

Все исследуемые пробы воды, характеризуются как «токсичные». Значение оптической плотности водоросли *Chlorella vulgaris* в фоновой точке № 11 (р. Ирень) – 0,049, что является самым низким показателем среди всех отобранных проб воды. Примерно одинаковые значения получились для проб, отобранных в 4,5 (в пруду с нефтеловушкой) и 6 точках – 0,064, 0,062 и 0,068 соответственно. В самом истоке реки, у скалы – в точке № 1, данный показатель наибольший – 0,104. В точке № 2 оптическая плотность водоросли в исследуемой воде значительно снизилась, и составила 0,087. Похожий результат получился и в точке № 7 – 0,084. Ниже по течению, в точке № 3 – 0,078.

В контрольной пробе оптическая плотность водоросли *Chlorella vulgaris* равна 0,168. Был рассчитан процент отклонения полученных значений от контроля. В результате, наибольший процент отклонения в фоновой точке (точка № 11) – 70%, наименьшее отклонение в истоке реки – 38% (точка № 1).

Наибольший процент отклонения оптической плотности, определяемой в р. Ирени (фоновое значение) и пробы, взятой в истоке реки – 112,2%. Во 2 и 8 точках отбора проб оптическая плотность на 77,5 и 71,4%

выше фонового показателя. В 3 пробе эта разница составляет 59,2%, а в пруду с нефтеловушкой (4 и 5 пробы) и в 6 пробе показатели оптической плотности превышают фоновое значение в 30,6%, 26,5% и 38,7% соответственно.

В соответствии с методикой [16] были рассчитаны значения токсичной кратности разбавления (ТКР). Полученные результаты ТКР начиная с истока реки идут в тенденции снижения: в истоке реки ТКР равен 22, в пруду у скалы – 20, в 3 точке – 18, в пруду с нефтеловушкой (в 4 и 5 точках) ТКР равен 15. Ниже по течению, в точке № 6 отмечается небольшое увеличение данного показателя до 19. В 8 точке самое высокое значение ТКР – 26. Наименьший результат расчетов показателя ТКР = 6 в фоновой пробе.

Результаты биотестирования проб воды с применением *Chlorella vulgaris* в сравнении с фоном представлены в таблице 2, где процент отклонения от фона был рассчитан по формуле 1:

$$(1) x = ((a_n * 100\%) / a_{фон}) - 100,$$

где: a_n $n=1,2...8$ – оптическая плотность n - пробы;
 $a_{фон}$ – оптическая плотность фоновой пробы.

Таблица 2

Результаты биотестирования проб воды с применением *Chlorella vulgaris* в сравнении с фоном

Table 2

Results of bioassay of water samples using *Chlorella vulgaris* in comparison with the background

№	Место отбора проб / Sampling location	Оптическая плотность / Optical density	% отклонения от фона / % deviation from background	ТКР* / TDF*
1	Исток у скалы / The source under the rock	0,104	112,2	22
2	Пруд у скалы / Pond by the rock	0,087	77,5	20
3	Русло в 45 м от истока / The riverbed is 45 m. from the source	0,078	59,2	18
4	Пруд с нефтеловушкой (выше по течению) / Pond with an oil trap (upstream)	0,064	30,6	15
5	Пруд с нефтеловушкой (ниже по течению) / Pond with an oil trap (downstream)	0,062	26,5	15
6	В 100 м ниже по течению от пруда / In 100 m. downstream from the pond	0,068	38,7	19
8	Небольшой стоячий ручей в 630 м от устья / A small standing stream 630 m. from the mouth	0,084	71,4	26
11	р. Ирень (фон) / Iren river (background)	0,049	0	6
	Контроль / Control	0,168		Не определялся / Not determined

Примечание // Note:

ТКР рассчитан на основании контрольных значений // TCF is calculated based on the control values

По результатам биотестирования донных отложений, при расчете процента отклонения значений оптической плотности от контроля, все пробы, за исключением пробы № 1 – в истоке у скалы, характеризуются снижением средней величины оптической плотности по сравнению с контролем на более чем 20% и являются токсичными. Оптическая плотность в данной точке составляет 0,168, что всего на 0,003 раза отличается от фона и на 2 % ниже контрольного значения. Во 2, 3, 6, 9 и 10 точках значения оптической плотности водоросли *Chlorella vulgaris* получились приблизительно одинаковыми. Так, в 6 и 10 пробах оптическая плотность равна 0,052, что на 69%

ниже относительно контроля. В 3, во 2 и в 9 – 0,055, 0,057 и 0,059 соответственно (на 67, 66 и 65% ниже контрольного показателя). В точках № 7 и 8, ниже по течению, наблюдается незначительное повышение данных значений до 0,063 и 0,062 соответственно.

Оптическая плотность в р. Ирени (фоновая проба) составляет 0,076. Две пробы донных отложений (№ 1 и № 4) характеризуются повышением оптической плотности по сравнению с фоном на 121 и 27,6% соответственно. Оптическая плотность оставшихся проб ниже фона: отклонение на 55,3% – в 5; на 31,5% – в 6 и 10 пробах; на 27,6%, 25% и 22,3% соответственно в 3, 2 и 9 пробах; и на 18,4 и 17,1% – в 8 и 7 пробах соответственно.

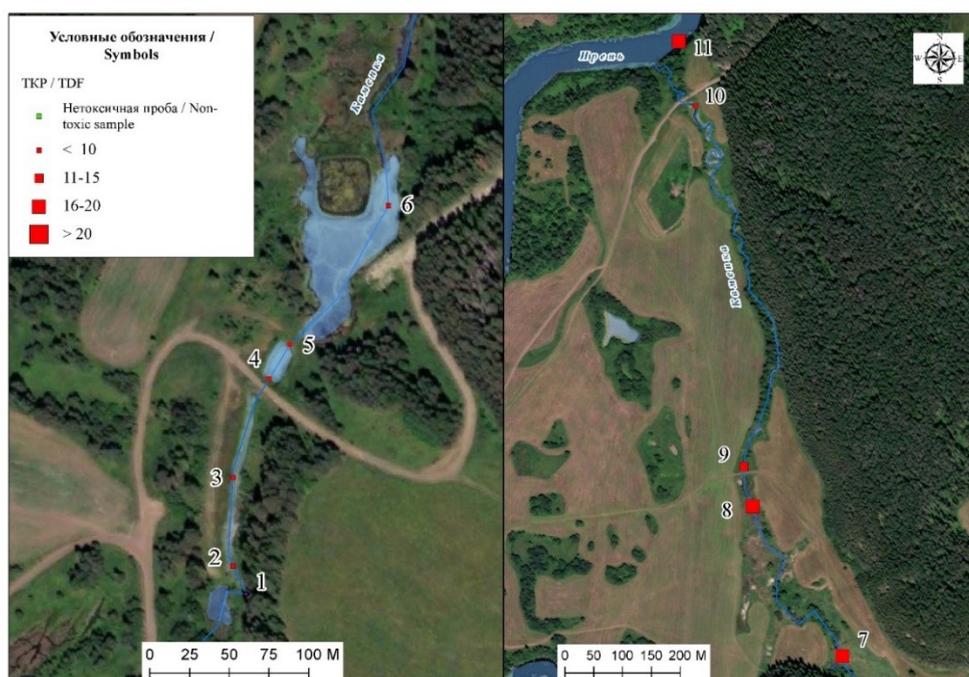


Рис. 3. Результаты биотестирования проб донных отложений с применением *Chlorella vulgaris*
 Fig. 3. Results of biotesting samples of bottom sediments using *Chlorella vulgaris* in comparison with control

Токсичная кратность разбавления проб донных отложений, считая от истока реки, идет по возрастающей. Наименьшее значение ТКР в пробах № 2, 3 и 4 равно 5, в пробах № 6 и 10 токсичная кратность разбавления составляет – 8. В пробе № 5 = 7. В точках № 7 и 8 наблюдается значительное увеличение данного показателя до 17 и 20 соответственно. Далее, ближе к устью ТКР снижается до 15, 8 и 16 в 9, 10 и 11 точках соответственно.

По результатам исследования, пробы воды и донных отложений, отобранные в р. Ирени в качестве фоновых значений, являются токсичными, что свидетельствует о продвижении фронта загрязнения в сторону р. Ирень.

По данным многих исследований, в устьях рек, впадающих в Ирень, в том числе и Каменки, отмечается высокое содержание нефтепродуктов, превышающих ПДК (до 0,07 мг/дм³) [10,18], содержание хлоридов в пределах фоновых значений и значительно ниже нормативов [19].

В некоторых местах отбора проб в направлении ниже по течению отмечаются резкие превышения значений оптической плотности, что связано с точечными выходами минерализованных вод в виде восходящих родников и вертикальной восходящей миграции компонентов и концентраций подземного стока в зонах максимальной трещиноватости пород [12]. Также, полученные результаты можно сопоставить с концентрациями ионов хлора в р. Каменка с тенденцией снижения от истока – 1330 мг/л к устью реки – 834 мг/л (ПДК_{рх} – 350 мг/л) и сульфат иона от 34 до 1609 мг/л, что более чем в 3 раза превышает ПДК_{рх} (500 мг/л) [6].

Результаты биотестирования проб донных осадков с применением *Chlorella vulgaris* в сравнении с фоном представлены в таблице 3 / table 3. Процент отклонения полученных значений оптической плотности от фонового показателя был рассчитан по формуле 1.

Таблица 3

Результаты биотестирования проб донных осадков с применением *Chlorella vulgaris* в сравнении с фоном

Table 3

The results of biotesting samples of bottom sediments using *Chlorella vulgaris* in comparison with the background

№	Место отбора проб / Sampling location	Оптическая плотность / Optical density	% отклонения от фона / % deviation from background	ТКР* / TDF*
1	Исток у скалы / The source under the rock	0,168	121,0	0,6
2	Пруд у скалы / Pond by the rock	0,057	-25,0	5
3	Русло в 45 м от истока / The riverbed is 45 m. from the source	0,055	-27,6	5
4	Пруд с нефтеловушкой (выше по течению) / Pond with an oil trap (upstream)	0,097	27,6	5
5	Пруд с нефтеловушкой (ниже по течению) / Pond with an oil trap (downstream)	0,034	-55,3	7
6	В 100 м ниже по течению от пруда / In 100 m. downstream from the pond	0,052	-31,5	8
7	Усохший пруд / Shrunken pond	0,063	-17,1	17
8	Небольшой стоячий ручей в 630 м от устья / A small standing stream 630 m. from the mouth	0,062	-18,4	20
9	Сухое русло в 600 м от устья / Dry riverbed 600 m from the mouth	0,059	-22,3	15
10	Устье р. Каменки / The mouth of the Каменка river	0,052	-31,5	8
11	р. Ирень / Iren river	0,076	0	16
12	Контроль / Control	0,071	93,4	Не определялся / Not determined

*Примечание // Note:

ТКР рассчитан на основании контрольных значений // TCF is calculated based on the control values

Результаты биотестирования с применением *Daphnia magna* показали, что все исследуемые пробы во всех разбавлениях нетоксичны. Количество живых и мертвых дафний было определено методом прямого счета. В соответствии с методикой [15], критерием острой токсичности служит гибель 50 % и более дафний за 48 часов в исследуемой пробе при условии, что в контрольном эксперименте все рачки сохраняют свою жизнеспособность. Максимальный процент гибели рачков дафний был 20% (8 выживших рачков из 10). В таблице 4 / table 4 приведены результаты биотестирования с применением *Daphnia magna*.

В 1, 2 и 3 точках отбора проб pH близка к нейтральной, количество органического углерода составляет 10—17 %. Нефтепродукты в пробах 1–3 содержатся в концентрациях – 4 093 мг/кг, 25 800 мг/кг и 5 494 мг/кг

[8]. Наибольшие различия выявлены при анализе содержания хлоридов. Концентрация хлоридов в донных отложениях в точках отбора 2 и 3 в 6-21 раз превышает аналогичный показатель для донных отложений в точке отбора 1 [7]. Концентрации хлоридов в пробах 1, 2 и 3 – 597 мг/кг, 2 975 мг/кг и 3 675 мг/кг соответственно, что вполне объясняет результаты биотестирования с применением *Chlorella vulgaris*: в истоке реки оптическая плотность водоросли в пробах воды составляет 0,104, во 2 и 3 точках данный показатель утнетение роста водоросли, показатель оптической плотности составляет 0,087 и 0,078 соответственно. Аналогичная ситуация с результатами биотестирования донных отложений: оптическая плотность в истоке реки 0,168, во 2 и 3 пробах снижается до значений 0,057 и 0,055 соответственно.

Таблица 4

Результаты биотестирования с применением *Daphnia magna*

Table 4

Results of bioassay using *Daphnia magna*

№ n/n	Пробы воды / Water samples		Пробы донных отложений / Samples of bottom sediments	
	Число выживших дафний, шт / Number of surviving daphnia, pieces	Процент отклонения от контроля, % / Percentage of deviation from control, %	Число выживших дафний, шт / Number of surviving daphnia, pieces	Процент отклонения от контроля, % / Percentage of deviation from control, %
1	10	0	9,3	7
2	9	10	9	10
3	9,6	4	9,6	4
4	9	10	9,3	7
5	9,6	4	9,6	4
6	8,6	14	10	0
7	–	–	9,6	4
8	9,6	4	10	0
9	–	–	10	0
10	–	–	10	0
11	10	0	10	0

*Примечание // Note:

«-» – Пробы воды не отбирались // “-” – No water samples were taken

Заключение

Биотест по воздействию исследованных вод и водных вытяжек из донных отложений на прирост водоросли хлорелла является более чувствительным по сравнению с определением токсичности вод и водных вытяжек из донных отложений методом прямого счета рачков-дафний.

Были изучены научные материалы по р. Каменке других исследователей. Отмечается высокое содержание хлоридов, нефтепродуктов и органического углерода в воде и донных отложениях. Концентрации хлоридов в пробах 1–3 имеют тенденцию увеличения, что вполне объясняет высокие показатели оптической плотности в истоке и заметное снижение данного показателя во 2 и 3 пробах.

Токсичными пробами донных отложений при сравнении с фоновым показателем (река Ирень) являются практически все пробы, за исключением проб № 1 и 4, где оптическая плотность значительно выше фонового

показателя и ближе к контрольной пробе. Процент отклонения показателей оптической плотности от фона в данных пробах 121% и 27,6% соответственно. Остальные пробы характеризуются отклонением от фонового показателя на 18-55%.

По результатам биотестирования проб воды, фоновый показатель оптической плотности имеет самое низкое значение, по сравнению с другими пробами и составляет 0,049. Все остальные пробы выше данного показателя на более чем 26%.

Сравнение оптической плотности исследуемых проб с контрольным показателем (на дистиллированной воде) считаем неприемлемым, поскольку результаты вводят в заблуждение и противоречат действительности. Для оценки токсичности природных и природно-техногенных вод перспективным считаем использование фоновых показателей.

В настоящее время проводится повторное биотестирование проб воды и донных отложений р. Каменка с

небольшой корректировкой точек отбора проб для сравнения и дальнейшей интерпретации полученных результатов. Также проведен гидрохимический анализ проб в лаборатории гидрохимического анализа ПГНИУ.

Список источников

1. Бузмаков С.А. Геоэкологические закономерности техногенной трансформации наземных экосистем под воздействием эксплуатации месторождений нефти: Автореф. дисс. на соискание уч. степени докт. геогр. наук: 25.00.36. Пермь, 2005. 44с.
2. Бузмаков С.А. Экспериментальное определение основных фаз техногенной трансформации экосистем // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2004. №2. С. 133–138.
3. ГОСТ 59024-2020. Вода. Общие требования к отбору проб. Национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное, утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 сентября 2020 г. № 640-ст. М.: Стандартинформ, 2020. 31 с.
4. ГОСТ 17.1.5.04-81. Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия: Межгосударственный стандарт, издание официальное. М.: ИПК Издательство стандартов, 1981. 7 с.
5. ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. Межгосударственный стандарт, издание официальное. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 7 с.
6. Дмитриева О.А. Влияние Кокуйского месторождения добычи нефти на состояние водных объектов Пермского края // Альманах мировой науки. 2016. Т. 15. № 12-2. С. 136–137.
7. Егорова Д.О., Бузмаков С.А., Санников П.Ю., Шестаков И.Е., Хотяновская Ю.В. Биоремедиационный потенциал природного микробиоценоза в условиях хронического нефтяного загрязнения // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 11. С. 60–65. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-11-60-65>
8. Егорова Д.О., Санников П.Ю., Хотяновская Ю.В., Бузмаков С.А. Состав бактериальных сообществ нефтезагрязненных донных отложений реки Каменка // Вестник Московского Университета. Серия 16. Биология. 2023. Т. 78. № 1. С. 17–24. <https://doi.org/10.55959/MSU0137-0952-16-78-1-3>
9. Катаев В.Н., Печенкина Е.И. Поверхностные формы карста Ясылского поля // Гидрогеология и карстоведение. 2000. № 13. С. 238–246.
10. Килин Ю.А., Минькевич 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.
11. Костарев В.П. К постановке карстомониторинга на трассах магистральных газопроводов Кунгурско-Иренского междуречья // Труды Международного экологического конгресса «Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности». 2000. Т. 1. С. 461.
12. Костарев С.М. Особенности нефтепромыслового загрязнения геологической среды карстовых районов Пермского края // Материалы Международного симпозиума «Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах». 2015. С. 317–322.
13. Лозовой Д.В. Биологический способ обнаружения нефтяного загрязнения в водных средах: Автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. биол. наук: 03.00.16. Иркутск, 2003. 22 с.
14. Нефтезагрязненные биогеоценозы (процессы образования, научные основы восстановления, медико-экологические проблемы) / под общ. ред. А.А. Оборина. Пермь: УрО РАН. Перм. гос. ун-т, 2008. 511 с.
15. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06; Т 16.1:2:2.3:3.9-06. Методика измерений количества *Daphnia magna* Straus для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления методом прямого счета.
16. 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) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления.
17. Р 52.24.353-2012. Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. Введены взамен Р 52.24.353-94 Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. Ростов-на-Дону, 2012. 36 с.
18. Рамазанов Р.А. Концентрация нефтепродуктов в р. Каменка на территории Кокуйского месторождения нефти // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: Материалы Всероссийской школы-семинара, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка (21–22 апреля 2022 года, г. Пермь) / отв. редактор С.А. Бузмаков Пермь: ПГНИУ, 2022. С. 348–350.
19. Репин И.С., Ермолович И.Г. Особенности нефтяного и хлоридного загрязнения на территории Кокуйского газонефтяного месторождения // Гидрогеология и карстоведение. 2020. № 20. С. 224–230.
20. Хотяновская Ю.В., Бузмаков С.А., Кучин Л.С. Геоэкологические закономерности трансформации природной среды при эксплуатации нефтяного месторождения в карстовом районе // Географический вестник. 2023 Т. 64. № 1. С. 127–138. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2023-1-127-138>
21. Buzmakov S, Khotyanovskaya Y. Degradation and pollution of lands under the influence of oil resources exploitation // Applied Geochemistry. 2020.

Vol. 113, P. 104443. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104443>

References

1. Buzmakov, S., 2005. Geojekologicheskie zakonornosti tehnogennoj transformacii nazemnyh jekosistem pod vozdejstviem jekspluatatsii mestorozhdenij nefi [Geocological patterns of technogenic transformation of terrestrial ecosystems under the influence of oil field exploitation]. Doctor's Dissertation Abstract of Sciences in Geography. Perm, 44 p.
2. Buzmakov, S., 2004. Experimental definition of main phases of ecosystem technogenic transformation. *Bulletin of Perm University. Biology.* (2), pp 133–138. (in Russian)
3. Voda. Obschie trebovaniya k otboru prob [Water. General sampling requirements] Decree of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology No. 640 State Standard 59024 -2020 from 10.09.2020. (in Russian)
4. Okhrana prirody. Gidrosfera. Pribory i ustroystva dlya otbora, pervichnoi obrabotki i chraneniya prob prirodnykh vod. Obschie tekhnicheskiye usloviya [Nature conservation. Hydrosphere. Devices and devices for sampling, primary processing and storage of natural water samples. General technical conditions] State Standard 17.1.5.04-81 from 01.01.1984. (in Russian)
5. Okhrana prirody. Gidrosfera. Obschie trebovaniya k otboru prob donnykh otlozheniy vodnykh obyektov dlya analiza na zagryaznennost' [Nature conservation. Hydrosphere. General requirements for sampling bottom sediments of water bodies for contamination analysis] State Standard 17.1.5.01-80 from 01.01.1982. (in Russian)
6. Dmitrieva, O., 2016. Vliyanie Kokujskogo mestorozhdeniya dobychi nefi na sostojanie vodnykh ob'ektov Permskogo kraja [The influence of the Kokuyskoye oil production field on the condition of water bodies in the Perm Region]. *Al'manakh mirovoi nauki.* 12(2), pp. 136–137. (in Russian)
7. Egorova, D., Buzmakov, S., Sannikov, P., Shestakov, I. and Khotyanovskaya, Y., 2022. Bioremediation potential of natural microbiocenosis under conditions of chronic oil contamination. *Ecology and Industry of Russia.* 26 (11), pp. 60–65. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-11-60-65>
8. Egorova, D., Sannikov, P., Khotyanovskaya, Y. and Buzmakov, S., 2023. Composition of bacterial communities in oil-contaminated bottom sediments of the Kamenka River. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 16. Biologiya.* 78(1), pp. 17–24. <https://doi.org/10.55959/MSU0137-0952-16-78-1-3> (in Russian)
9. Kataev, V. and Pechenkina, E., 2000. The surface karst forms of Yasil'sk field. *Gidrogeologiya i karstovedenie,* (13), pp. 238–246. (in Russian)
10. Kilin, U. and Min'kevich, I., 2021. Features of oil pollution of underground and surface waters in the karst regions of the south of the perm territory. *Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala,* 4 (41), pp. 256–262. (in Russian)
11. Kostarev, V., 1995. K postanovke karstomonitoringa na trassah magistral'nyh gazoprovodov Kungursko-Irenskogo mezhdurech'ja [To establish karst monitoring on the routes of the main gas pipelines of the Kungur-Irena interfluve]. *Trudy Mezhdunarodnogo jekologicheskogo kongressa "Novoe v jekologii i bezopasnosti zhiznedejatel'nosti".* (1), p. 46. (in Russian)
12. Kostarev, S., 2015. Oilfield pollution aspects of the karst areas geological environment in Perm. *Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Jekologicheskaja bezopasnost' i stroitel'stvo v karstovykh rajonah»,* pp. 317–322. (in Russian)
13. Lozovoy, D., 2003. *Biologicheskij sposob obnaruzheniya nefljanogo zagryazneniya v vodnykh sredah* [Biological method for detecting oil pollution in aquatic environments]. Abstract of the candidate's dissertation in biological sciences. Irkutsk, 22 p.
14. Oborin, A. (ed.), 2008. *Neftezagryaznennyye biogeocinozy (processy obrazovaniya, nauchnye osnovy vostanovleniya, mediko-jekologicheskie problemy)* [Oil-contaminated biogeocenoses (education processes, scientific foundations of restoration, medical and environmental problems)]. Perm, URo RAN. 511 p. (in Russian)
15. Metodika izmereniy kolichestva *Daphnia magna* Straus dlya opredeleniya toksichnosti pit'evykh, presnykh prirodnykh i stochnykh vod, vodnykh vytyazhek iz gruntov, pochv, osadkov stochnykh vod, otkhodov proixvodstva i potrebleniya metodom pryamogo scheta [The method of measuring the amount of *Daphnia magna* Straus for determining the toxicity of drinking, fresh natural and wastewater, water extracts from soils, soils, sewage sludge, production and consumption waste by direct counting]. PND F T 14.1:2:3:4.12-06; T 16.1:2:2.3:3.9-06. (in Russian)
16. Metodika izmereniy opticheskoy plotnosti kul'tury vodorosli chlorella (*Chlorella vulgaris* Beijer) dlya opredeleniya toksichnosti pit'evykh, presnykh prirodnykh i stochnykh vod, vodnykh vytyazhek iz gruntov, pochv, osadkov stochnykh vod, otkhodov proixvodstva i potrebleniya [The method of measuring the optical density of *Chlorella vulgaris* Beijer algae culture for determining the toxicity of drinking, fresh natural and wastewater, water extracts from soils, soils, sewage sludge, production and consumption waste]. PND F T 14.1:2:3:4.10-04; T 16.1:2:2.3:3.7-04. (in Russian)
17. Otbor prob poverkhnostnykh vod syshi i ochischennykh stochnykh vod [Sampling of surface waters of land and treated wastewater] R 52.24.353-2012. from 2012, (in Russian)
18. Ramazanov, R., 2022. *Concentration of petroleum products in the Kamenka river on the territory of the Kokuyskoye oil field.* In: Buzmakov, S. (ed.) *Jekologicheskaja bezopasnost' v usloviyah antropogennoj transformacii prirodnoj sredy: Proceedings of All-Russian Scientific School-Seminar, 21–22 April 2022, Perm, Russia.* Moscow, Perm State University. pp. 348-350. (in Russian)
19. Repin, I. and Ermolovich, I., 2020. Osobennosti nefljanogo i hloridnogo zagryazneniya na territorii Kokujskogo gazoneftjanogo mestorozhdeniya [Features of oil and chloride pollution on the territory of the Kokuyskoye

gas and oil field] *Gidrogeologija i karstovedenie*. (20), pp. 224–230. (in Russian)

20. Khotyanovskaya, Y., Buzmakov, S. and Kuchin, L., 2023. Geocological regularities of the natural environment transformation during the exploitation of an oil field. *Geographical bulletin*. 1(64), pp. 127–138.

<https://doi.org/10.17072/2079-7877-2023-1-127-138> (in Russian)

21. Buzmakov S. and Khotyanovskaya Y. 2020. Degradation and pollution of lands under the influence of oil resources exploitation. *Applied Geochemistry*, (113), p. 104443. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104443>

Статья поступила в редакцию 09.03.2023; одобрена после рецензирования 30.03.2023; принята к публикации 16.05.2023.

The article was submitted 09.03.2023; approved after reviewing 30.03.2023; accepted for publication 16.05.2023.