

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Научная статья

УДК 550.4: 504.054

doi: 10.17072/2079-7877-2023-1-127-138

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В КАРСТОВОМ РАЙОНЕ

Юлия Владимировна Хотяновская^{1✉}, Сергей Алексеевич Бузмаков², Леонид Сергеевич Кучин³

^{1, 2, 3}Пермский государственный национальный исследовательский университет, г.Пермь, Россия

¹79082412863@yandex.ru[✉], <http://orcid.org/0000-0002-7172-778X>, SPIN-код: 3021-9540

²lep@psu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5144-0714>, SPIN-код: 8537-9627

³kleond@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5283-5681>

Аннотация. Проведено комплексное геоэкологическое обследование территории нефтяного месторождения, которое находится в карстовом районе. Изучение нефтепромыслового техногенеза на территории карстового района включает в себя выяснение особенностей механогенеза, потоков углеводородов, миграции солей в почвах и водотоках, распространения атмосферных загрязнителей. Для определения выраженности этих техногенных процессов в пространстве использованы методы дистанционного зондирования. Потенциальная емкость для аккумуляции углеводородов карстового массива лога Арапов Ключ может составлять порядка до 350 239 т. Геохимическими методами и биоиндикацией установлено, что битумизация охватила карстовые полости, родники, ручьи верховья р. Ясыл, а также донные осадки и почвы. Техногенный галогенез выражается в увеличении концентрации хлоридов, гидрокарбонатов вблизи технических объектов нефтепромысла, а также наличии галофильных микроорганизмов. Геоэкологическая карта отражает закономерности техногенных процессов в карстовом районе при добыче нефти. Разработанный методический комплекс геоэкологических исследований может быть использован при изучении других карстовых районов.

Ключевые слова: нефтяное месторождение, геоэкологическое обследование, техногенез, механогенез, битумизация, карст, ДЗЗ, биоиндикация

Сведения о финансировании: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 20-45-596018.

Для цитирования: Хотяновская Ю.В., Бузмаков С.А., Кучин Л.С. Геоэкологические закономерности трансформации природной среды при эксплуатации нефтяного месторождения в карстовом районе // Географический вестник. 2023. № 1(64). С. 127–138. doi: 10.17072/2079-7877-2023-1-127-138.

ECOLOGY AND NATURE USE

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-1-127-138

GEOECOLOGICAL REGULARITIES OF THE NATURAL ENVIRONMENT TRANSFORMATION DURING THE EXPLOITATION OF AN OIL FIELD IN A KARST REGION

Yuliya V. Khotyanovskaya^{1✉}, Sergei A. Buzmakov², Leonid S. Kuchin³

^{1, 2, 3}Perm State University, Perm, Russia

¹79082412863@yandex.ru[✉], <http://orcid.org/0000-0002-7172-778X>, SPIN-код: 3021-9540

²lep@psu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5144-0714>, SPIN-код: 8537-9627

³kleond@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5283-5681>

Abstract. A comprehensive geo-ecological survey of the territory of an oil field located in a karst region was carried out. The study of an oilfield technogenesis on the territory of a karst region includes detection of the features of mechanogenesis, hydrocarbon flows, salt migration in soils and watercourses, and the spread of atmospheric pollutants. To determine the severity of these man-made processes in space, remote sensing methods were used. The potential capacity for hydrocarbon accumulation in the karst massif of the Arapov Klyuch ravine can be up to 350.239 tons. Geochemical methods and bioindication established that bituminization covered karst cavities, springs, streams of the upper reaches of the Yasyl River, as well as bottom sediments and soils. Technogenic halogenesis is expressed in an increase in the concentration of chlorides and hydrocarbonates near the technical objects of the oil field, and also halophilic microorganisms were found. The geoecological map reflects the patterns of technogenic processes in the karst region during oil production. The developed methodological complex of geoecological research can be used in the study of other karst regions.



Экология и природопользование
Хотяновская Ю.В., Бузмаков С.А., Кучин Л.С.

Keywords: oil field, geoecological survey, technogenesis, mechanogenesis, bitumization, karst, remote sensing, bioindication
Funding. The reported study was funded by the RFBR and the Perm Territory, project No. 20-45-596018.

For citation: Khotyanovskaya Yu.V., Buzmakov S.A., Kuchin L.S. (2023). Geoecological regularities of the natural environment transformation during the exploitation of an oil field in a karst region. *Geographical Bulletin*. No. 1(64). Pp. 127–138. doi: 10.17072/2079-7877-2023-1-127-138.

Введение

При добыче нефти ежегодно в ландшафты поступают органические и минеральные вещества как природного, так и техногенного происхождения. В работах геохимического направления показано, что нагрузки на природную среду обусловлены физическими (механогенез) и химическими воздействиями (битумизация, галогенез, атмосферное загрязнение), возникающими при авариях на технических объектах, а также связанными с технологическими выбросами.

Активизация вторичных рельефообразующих процессов может обуславливаться полной или частичной деградацией почв и (или) изменением теплофизических параметров грунтов. Деградация почв вдоль наиболее крупных трубопроводов в северных ландшафтах Западной Сибири приводит: а) на территориях, где нет льдистой мерзлоты, к возникновению промоин, рытвин, ложбин стока, оврагов; б) при наличии льдистой мерзлоты – к нарушению теплового баланса и температурных режимов, термоэрозии и термокарсту, сезонному и многолетнему пучению, растрескиванию грунтов, просадкам, суффозии. Восстановление в нарушенных грунтах структурных связей, плотности, сжимаемости, сопротивления сдвигу возможно не ранее чем через 10–20 лет [18].

Битумизация – это один из основных видов геохимического воздействия на территории нефтепромысла [6; 16; 19]. Под битумизацией понимается загрязнение почвенного покрова и грунтов, воды, донных осадков веществами органического происхождения. Авторы в работе [13] показали, что концентрации нефти около 5–10% приводят к ухудшению воздушного режима почв и изменению их свойств. Снижение величины урожайности культур наблюдается уже при содержании 1% нефти массы почвы [5]. В загрязненных нефтью почвах меняется ферментативная активность [10]. Для подавления нитрификации почв достаточно 0,5% нефти [8]. При этой же концентрации (0,5%) фотосинтетическая активность проростков костра безостого в два раза меньше фонового уровня [18].

Техногенный галогенез – засоление почв, грунтов, поверхностных, внутрипочвенных и подземных вод – наиболее характерный геохимический процесс преобразования природных систем в районах добычи нефти [18]. Наиболее уязвимыми элементами этих систем являются водоводы высокого давления. Причины аварийности – высокое давление в трубопроводах в сочетании с агрессивностью рабочего агента приводит к развитию активной коррозии за счет наличия растворенных солей, высокой температуры и давления, а также значительной протяженности трубопроводов [23]. О масштабах солевого загрязнения можно судить по материалам наземного картирования нарушенных территорий ряда месторождений Нижневартовского района. Солевое загрязнение в чистом виде встречается в среднем в 7–10 раз реже по сравнению с нефтесолевым и нефтяным [9; 20].

Угледороды поступают в атмосферу при продувках скважин, стравливании из трубопроводов, утечках из негерметичных технологических установок, испарении из очистных сооружений и резервуаров товарных парков [3; 15].

Мощные техногенные потоки связаны с добывающими, нагнетательными и поглочительными скважинами, компрессорными станциями и другими техническими объектами. При работе компрессорных станций магистральных газопроводов в атмосферу выбрасываются бутан, одорант, оксиды азота, углерода, сернистый ангидрид [18]. По данным [12] под факельными установками в воздухе происходит увеличение содержания диоксида азота и сажи в 2 раза, оксида углерода и метана – в 1,3 раза. На участках влияния разведочных и добывающих скважин количество сажи по

Экология и природопользование
Хотяновская Ю.В., Бузмаков С.А., Кучин Л.С.

сравнению с фоном увеличивается в 2 раза, диоксида азота – в 1,5 раза, диоксида серы и азота – в 1,3 раза.

Опыт разработки нефтяных месторождений Пермского края показал, что проблемы стойкого, трудно устранимого загрязнения окружающей среды наиболее остро отмечаются в районах развития карста [6; 7]. В Пермском крае насчитывается около 320 месторождений нефти площадью около 4300 км². Почти треть площади всех месторождений расположена в карстовых районах. Карстовые массивы и особенно такой элемент массивов, как подземные воды, среди геологических объектов наиболее уязвимы [25] в условиях техногенного воздействия на территориях недропользования.

Материал и методика

Изучение нефтепромыслового техногенеза на территории карстового района включает в себя выяснение особенностей механогенеза, потоков углеводородов, миграции солей в почвах и водотоках, распространения атмосферных загрязнителей. Для определения выраженности этих процессов в пространстве использованы методы дистанционного зондирования.

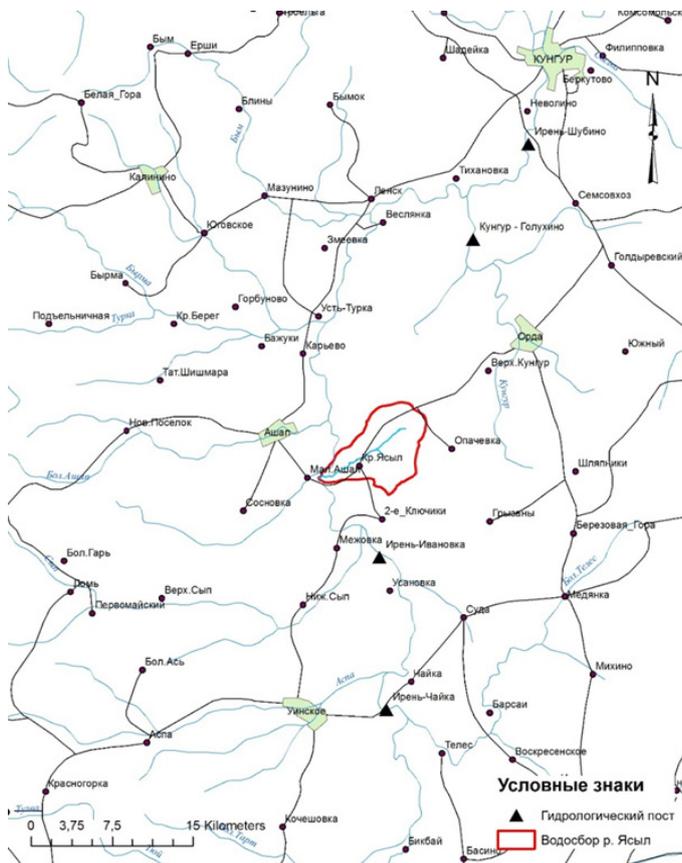


Рис. 1. Район исследований, водосбор р. Ясыл
Fig. 1. Study area, the Yasyl River watershed

Бассейн р. Ясыл расположен в Ординском районе Пермского края, в районе села Красный Ясыл (рис. 1). Ординский район находится на юго-востоке Пермского края, значительная его часть – в долине р. Ирень.

В пределах долины Ясылского лога и примыкающих территорий расположено свыше 1300 поверхностных весьма разнообразных карстовых форм. Здесь развиты воронки и провалы, карстово-эрозийные лога, рвы и слепые мешкообразные долины, карстовые озера и источники; фрагменты локализованных подземных потоков вскрываются карстовыми воронками. 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 [11].

Для проведения геоэкологического исследования нами был разработан методический комплекс, включающий изучение основных видов воздействия на территорию нефтепромысла (рис. 2).

Экология и природопользование
Хотяновская Ю.В., Бузмаков С.А., Кучин Л.С.



Рис. 2. Комплекс по изучению техногенной трансформации природной среды в условиях карста
Fig. 2. A complex for the study of anthropogenic transformation of the natural environment in karst conditions

Материалами исследования стали результаты комплексных экологических обследований в карстовом районе бассейна р. Ясыл (Кокуйское месторождение, Ординский район, Пермский край) в 2016–2018 гг. В процессе полевых исследований были осуществлены: разносезонная сплошная аэрофотосъемка с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА), бурение исследовательских скважин, опробование подземных и поверхностных вод, грунтов и донных осадков, определение состава атмосферного воздуха, газогеохимическая съёмка, отбор водных и почвенных проб для геомикробиологического анализа. Газогеохимическое обследование проведено лабораторией геоэкологии горнодобывающих регионов ГИ УрО РАН. Метод газогеохимического обследования основан на оценке свойств приповерхностного газового фона при помощи газоанализатора ECOPROBE-5, который предоставляет информацию о концентрации метана, диоксида углерода, летучих органических соединениях (ЛОС) и суммарного содержания углеводородов C₁-C₅ (УВГ) в подпочвенном газе [2; 4].

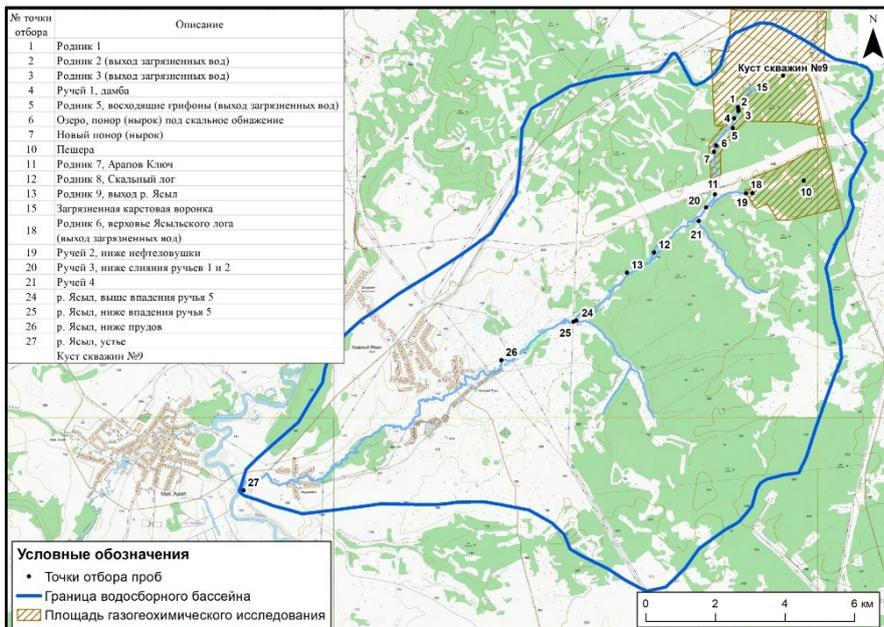


Рис. 3. Места отбора проб
Fig. 3. Sampling locations

Подготовка картографических материалов и дешифрирование ортофотопланов масштаба 1:2000 осуществлялись в среде ArcGIS 10.5. Процесс дешифрирования был основан на визуальных признаках объектов, однозначно определяемых на изображениях заданного разрешения [26].

Полученные в ходе исследования материалы явились основой базы данных «Техногенная трансформация природной среды в карстовом районе» [17].

Местоположение всех площадок, на которых проводились отборы (замеры), приведены на рис. 3.

В табл. 1 представлен объем собранного в ходе исследования материала.

Экология и природопользование
Хотянская Ю.В., Бузмаков С.А., Кучин Л.С.

Таблица 1

Объем собранного материала
The amount of material collected

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

Результаты и обсуждение

Карстовые полости в пределах Ясылского карстового лога вскрывались буровыми скважинами. Из 126 скважин, проанализированных сотрудниками института «Пермгипроводхоз» и пробуренных в процессе исследований в 2016 г., 71 скважина вскрыла 126 карстовых полостей – открытых, частично или полностью заполненных грунтовым материалом различного гранулометрического состава.

Большинство вскрытых полостей (118 из 126) имеют вертикальные размеры от 0,3 до 5 м и залегают на глубинах до 40 м (рис. 4). В интервале глубин до 15 м встречено наибольшее количество карстовых полостей.

Буровыми работами были вскрыты 44 карстовые полости без заполнителя, что составляет более 30% общего количества обнаруженных полостей. Максимальное количество карстовых полостей без заполнителя (открытых) находится в интервале глубин до 15 м. Карстовые полости без заполнителя могут являться гидрогеологически активными. В результате гидрогеологической активности этих полостей, которую обуславливает их пустотность, в карстующихся породах образуются провалы и воронки. Открытые карстовые полости часто бывают обводнены, особенно в многоводные периоды года. Постоянно заполняются водой полости зон локализации подземного стока.

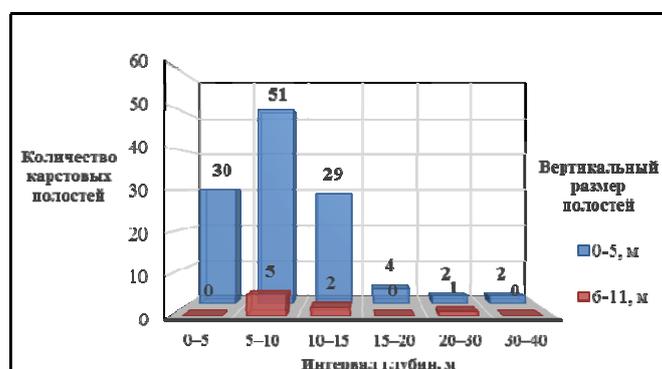


Рис. 4. Распределение карстовых полостей по вертикальным параметрам в зависимости от глубины залегания
Fig. 4. Distribution of karst cavities by vertical parameters depending on the depth of occurrence

Карстоведами предложен следующий метод вычисления объема карстовых полостей, выявленных в результате бурения скважин. Полость рассматривается как полусфера и вычисляется объем полости с помощью формулы объема полусферы [1]

$$V_{\text{полусферы}} = 4/3 \pi r^3. \quad (1)$$

Экология и природопользование
Хотяновская Ю.В., Бузмаков С.А., Кучин Л.С.

По имеющимся данным 118 полостей имели вертикальные размеры (h) 0,3–5 м. Если грубо округлить и взять глубину каждой за 5 м (вероятнее всего их глубины со временем и увеличивались), тогда получим

$$V_{\text{полусферы}} = 4/3 * 3,14 * 5^3 = 523,33 \text{ м}^3 - \text{объем одной полости} \quad (2)$$

$$523,33 \text{ м}^3 * 118 \text{ шт.} = 61753,33 \text{ м}^3. \quad (3)$$

Остальные 8 полостей имеют высоты 6–11 м. При таком же округлении (до 11 м каждая) получим

$$V_{\text{полусферы}} = 4/3 * 3,14 * 11^3 = 5572,45 \text{ м}^3 - \text{объем одной полости} \quad (4)$$

$$5572,45 \text{ м}^3 * 8 \text{ шт.} = 44579 \text{ м}^3. \quad (5)$$

Суммируя два значения, находим ориентировочный объем всех выявленных карстовых полостей на площади 1 км²

$$61\,753,33 \text{ м}^3 + 44\,579,6 \text{ м}^3 = 106\,332,93 \text{ м}^3 \quad (6)$$

Площадь водосборного бассейна ручья Арапов Ключ – 3,83 км², следовательно, примерная максимальная потенциальная емкость карстового массива может составлять 407 255,122 м³ (106 332,93 м³ * 3,83 км²).

Средняя плотность нефти на Кокуйском месторождении – 0,860 г/см³ (860 кг/м³) [14], таким образом, в карстовом массиве может разместиться масса нефти около 350 239 т.

В наиболее преобразованной добычей и транспортировкой нефти верхней части речного бассейна механогенезу подвержено до 26,8% территории, что обусловлено нефтепромысловой деятельностью. В верхней части водосбора наибольшие площади занимают полосы отвода линейных коммуникаций (нефте-, газо-, водопроводы и кабельные линии) ≈30%; а также рубки леса на прилегающих участках ≈ 38% и ЛЭП ≈5%. Доля площади собственно нефтепромысловых объектов (скважины, кусты скважин, дожимно-насосные станции) сравнительно невелика – 2,7% [26].

Общая динамика концентраций НП по основным фазам водного режима (зимняя межень, весеннее половодье, летне-осенние паводки) за 3 года в долях ПДК приведена в табл. 2.

Таблица 2

Содержание нефтепродуктов в пробах поверхностных и подземных вод в долях ПДК
The content of petroleum products in surface and ground water samples in fractions of MPC

№ ПП	Наименование площадки	Доли ПДК								
		2016 г.			2017 г.			2018 г.		
		март	апрель	июль	март	апрель	август	февраль	май	июль
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ПП1	Родник 1	<1	10,2	3,6	1,2	<1	<1	<1	12,8	2,8
ПП2	Родник 2	110,6	32800	11400	<1	<1	<1	7,3	8,6	1
ПП3	Родник 3	72,4	47200	64000	1,8	<1	1,6	9,4	5,8	<1
ПП4	Дамба, ручей 1	–	–	<1	<1	<1	<1	<1	11	4,6
ПП5	Восходящие грифоны, родник 5	–	332	<1	<1	<1	<1	<1	7,8	<1
ПП10	Пономаревская пещера	–	60,8	<1	1,6	2,6	<1	734	748	166
ПП18	Родник 6, верховье Ясылского лога	–	–	–	78	78	<1	16	170	5,4

В большинстве мест отбора проб высокие концентрации НП наблюдались в фазу весеннего половодья, что объясняется подъемом уровня вод и, как следствие, возможным вымыванием углеводородов из карстовых полостей, загрязненных пойменных почв. Территориально большинство загрязненных проб было отобрано в верховьях р. Ясыл, так же недалеко от них расположен куст скважин № 9.

Донные осадки являются депонирующей средой для загрязняющих веществ, способствуя тем самым очищению водной среды, но при определенных условиях эти вещества вновь могут переходить в водную толщу, таким образом, донные осадки

Экология и природопользование
Хотяновская Ю.В., Бузмаков С.А., Кучин Л.С.

становятся потенциальным источником вторичного загрязнения водных экосистем. В ряде проб (родники 2 и 3) содержание НП оказалось очень высоким, что позволяет назвать их вторичными источниками загрязнения (табл. 3).

Таблица 3

Содержание нефтепродуктов в донных осадках на участке выходов загрязненных вод
The content of petroleum products in bottom sediments in the polluted water outlet area

№ ПП	Наименование площадки	Содержание нефтепродуктов, мг/кг		
		2016 г.	2017 г.	2018 г.
1	Родник 1	63	71	171
2	Родник 2 (выход загрязненных вод)	7527	3834	2048
3	Родник 3, нисходящий (выход загрязненных вод)	10653	5729	7662
4	Дамба, ручей 1	61	601	298
5	Восходящие грифоны, родник 5 (выход загрязненных вод)	101	59	<50
6	Озеро, понор (нырок) под скальное обнажение	74	496	181
7	Новый понор (нырок)	627	52	<50
10	Пономаревская пещера	9337	–	54872
11	Родник 7, Арапов Ключ (ручей 1)	104	102	74
13	Выход р. Ясыл, родник 9	92	72	57
15	Загрязненная карстовая воронка	–	2665	<50
18	Родник 6, верховье Ясылского лога (выход загрязненных вод)	–	557	33238

Полученные результаты по содержанию НП в воде, донных осадках, грунтах и почве позволяют выделить следующие источники загрязнения – выходы загрязненных вод (родники 2, 3, 6), Пономаревская пещера, куст эксплуатационных скважин № 9. Углеводороды мигрируют в направлении от истока к устью р. Ясыл, разбавляясь в ее водах и аккумулируясь в пойменных почвах и донных осадках; максимальные концентрации зафиксированы в верховьях логов Арапов Ключ и Ясылского. Высокие концентрации свидетельствуют о новейших поступлениях углеводородов. Таким образом, в верховьях р. Ясыл сформировались поля углеводородов; загрязненные почвы являются вторичными источниками загрязнения водных объектов [21].

Характер распределения газогеохимических показателей на опробованной территории приведен на рисунке 5. Газогеохимическое зондирование приустьевой зоны скважин показало, что по-прежнему в приповерхностном газовом фоне вблизи некоторых скважин фиксируется присутствие повышенных концентраций углеводородов, в составе которых доминируют гомологи метана. Опробование скважины № 707 показало, что, несмотря на значительное снижение содержания УВГ, их концентрации остаются сверханомальными. Учитывая отсутствие визуальных признаков нефтезагрязнения опробованного разреза по-прежнему можно предположить, что данное явление отражает вертикальный массоперенос газовых компонентов в околоствольном пространстве скважины из продуктивной части разреза за счет наличия дефектов в ее цементации.

Северо-западнее площадки нефтепромысловых объектов выявлен ряд сопряженных аномальных пикетов (№ 3–11), характеризующихся повышенным содержанием в подпочвенном воздухе углеводородных газов (224–388 ppm). Учитывая приуроченность этих пикетов к трассе нефтепровода, не исключено, что формирование данного очага загрязнения может быть обусловлено им.

Мозаичный характер газогеохимических аномалий в верховьях лога Арапов Ключ обусловлен, по всей вероятности, сложным анизотропным строением карстового массива, обусловившим наличие нескольких по размерам локальных зон нефтезагрязнения, сформировавшихся за счет рассеяния грунтовыми водами и контролируемых гидродинамическими условиями приповерхностной части разреза.

Экология и природопользование
Хотяновская Ю.В., Бузмаков С.А., Кучин Л.С.

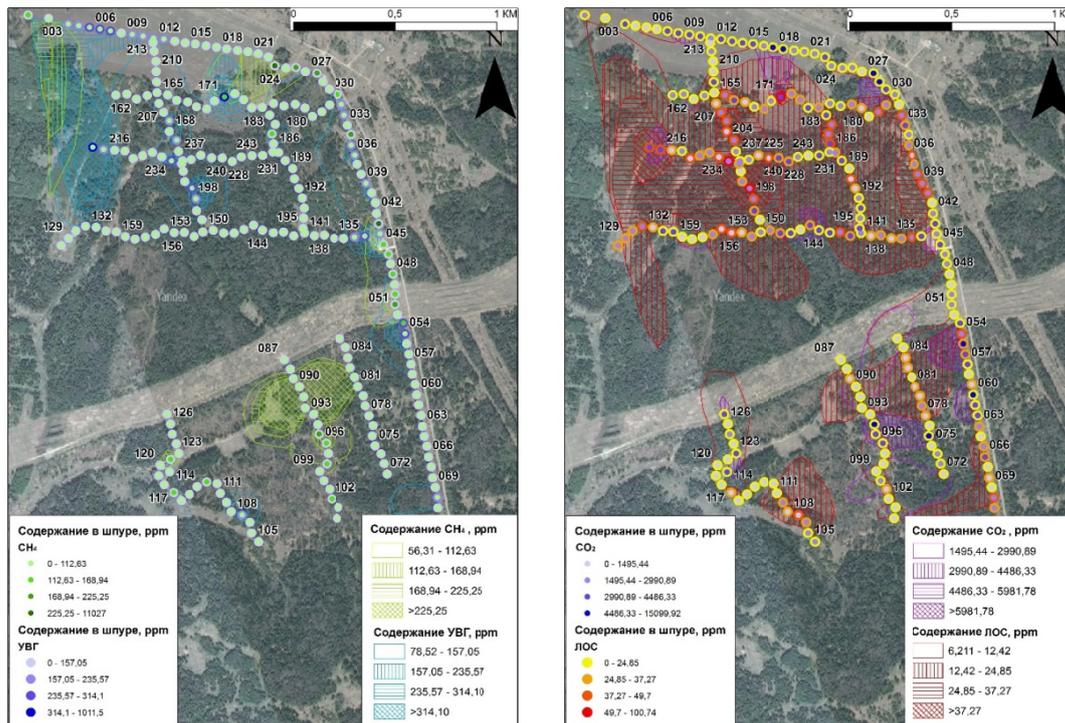


Рис. 5. Результаты газогеохимического обследования
(по данным лаборатории геоэкологии горнодобывающих регионов ГИ УрО РАН)

Fig. 5. The results of a gas-geochemical survey

(according to the data from the Laboratory of Geoecology of Mining Regions at the Mining Institute of the Ural Branch of the RAS)

Минерализация воды в среднем составляет 2240 мг/дм^3 , минимальное значение 698 мг/дм^3 зафиксировано в ручье 4 (ПП 21) – апрель, максимальное – 2756 мг/дм^3 в точке отбора в Пещере (ПП 10) – март. Изменение минерализации в целом соответствует изменению режима питания реки: наибольшие значения приурочены к периоду зимней межени, наиболее пресная вода зафиксирована в период весеннего половодья. В среднем минерализация достаточно высока (более 2 г/дм^3), что свидетельствует о сильной закарстованности района, ее распределение по территории и во времени достаточно равномерно [22; 24].

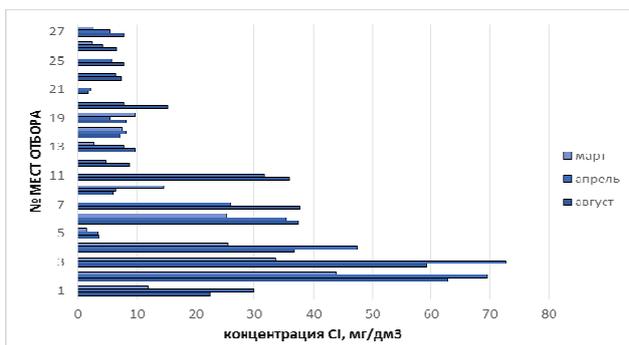


Рис. 6. Содержание хлорид-аниона в водах бассейна р. Ясыл
Fig. 6. Chloride anion content in the waters of the Yasyl River basin

хлоридами во времени показывает, что пики концентраций хлоридов синхронно возрастают в половодье. В среднем и нижнем течении концентрации небольшие (не превышают фон). Очагом хлоридного галогенеза по-прежнему остается район лога Арапов Ключ.

Был проведен анализ микробоценоза подземных вод. К концу весенне-летнего периода в трех точках выявлено присутствие галофильных микроорганизмов. В точках, где они были обнаружены, зафиксированы концентрации хлоридов, превышающие фоновые значения (родник 3 и родник 7), а также незначительные концентрации НП. Нужно отметить, что общее

диапазон концентраций хлоридов (рис. 6) составляет от $1,5$ до $72,7 \text{ мг/дм}^3$, повышение хлоридов характерно в период половодья, что свидетельствует о поверхностном источнике происхождения данного загрязняющего вещества. Наибольшие концентрации (со значительным превышением фонового показателя) опять же характерны для родников и ручьев в самом верховье лога Арапов Ключ.

Анализ динамики загрязнений

Экология и природопользование
Хотяновская Ю.В., Бузмаков С.А., Кучин Л.С.

количество галофилов невысокое. В 2018 г. в подземных водах также было установлено их присутствие. При этом количество точек, содержащих галофилы, возросло. Однако их средняя численность существенно не отличается от численности предыдущего года. По-прежнему галофилы были найдены в роднике 3 (верховье лога Арапов Ключ), в роднике 8 (Скальный лог). Максимальное их количество было обнаружено в верхнем течении реки (родник 5) (рис. 7).

Результаты обследования атмосферного воздуха представлены на рис. 7. Превышения 0,5 ПДК м.р. не были выявлены в точках 2 (родник 2, выход загрязненных вод), 3 (родник 3, выход загрязненных вод), 5 (восходящие грифоны, выход загрязненных вод) и на фоновой площадке (точка 8) (рис. 8).

На основе полученных данных была построена геоэкологическая карта части водосбора р. Ясыл как наиболее проблемной территории (рис. 9), отражающая техногенные процессы в карстовом районе при добыче нефти.

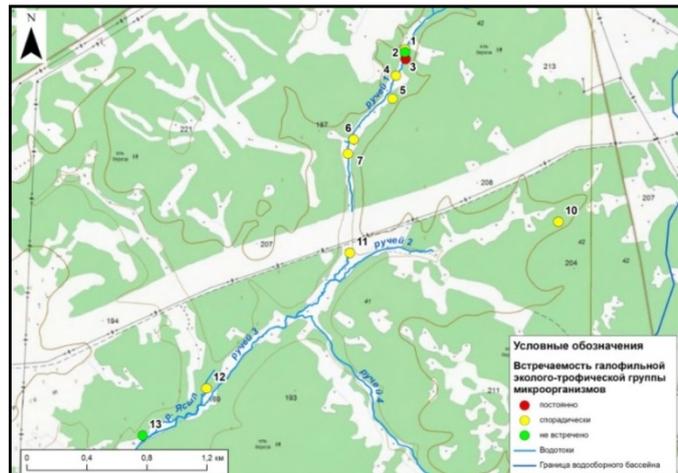


Рис. 7. Встречаемость галофильных микроорганизмов за весь период наблюдений

Fig. 7. Occurrence of halophilic microorganisms over the entire observation period

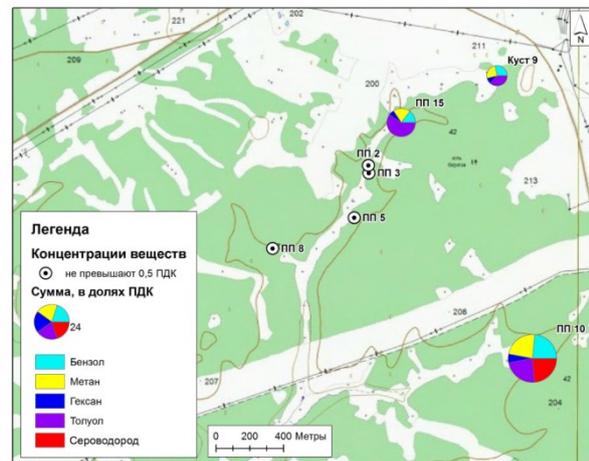


Рис. 8. Концентрации загрязняющих веществ в точках обследования

Fig. 8. Concentrations of pollutants at the survey points

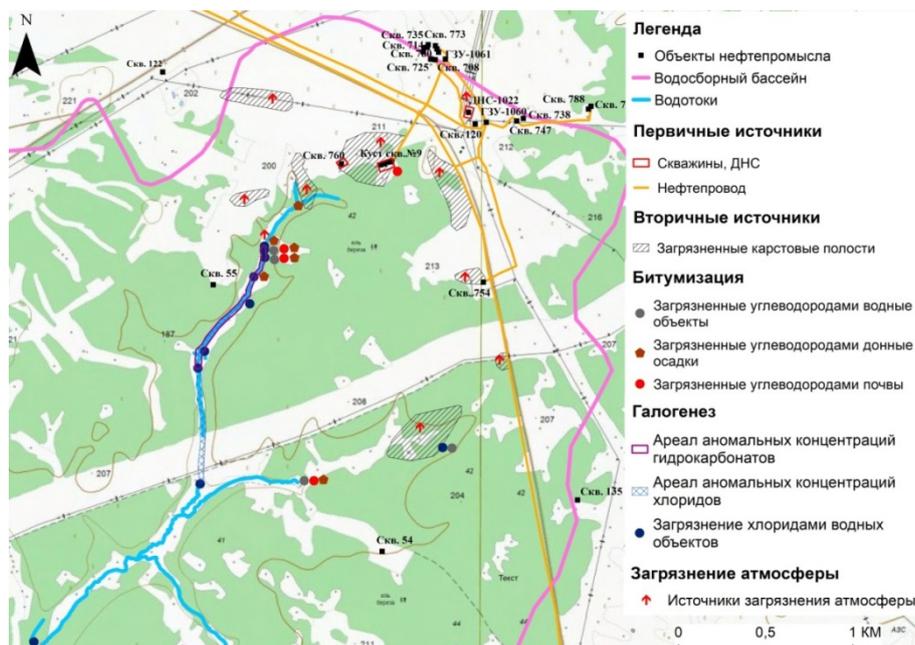


Рис. 9. Трансформации природной среды при эксплуатации нефтяного месторождения в карстовом районе

Fig. 9. Transformation of the natural environment during the operation of the oil field in the karst area

Экология и природопользование
Хотяновская Ю.В., Бузмаков С.А., Кучин Л.С.

Выводы

Наличие карстовых полостей предопределяет специфический характер последствий утечек нефти, нефтесодержащих жидкостей, которые имеют возможность аккумулироваться в полостях на длительный период и постоянно загрязнять водотоки. Потенциальная емкость карстового массива лога Арапов Ключ может составлять порядка до 350 239 т.

Геохимическими методами и биоиндикацией установлено, что битумизация охватила карстовые полости, родники, ручьи (притоки) р. Ясыл, а также донные осадки и почвы. Во временном отношении концентрации нефтепродуктов возрастают в периоды половодья. В пространственном отношении содержание нефтепродуктов постепенно снижается в направлении устья реки.

Техногенный галогенез выражен в увеличении концентрации хлоридов, гидрокарбонатов в верхней части водосбора р. Ясыл вблизи технических объектов нефтепромысла. Галофильные микроорганизмы были обнаружены при повышенном содержании хлоридов, определены места их постоянного присутствия.

Геоэкологическая карта отражает техногенные процессы в карстовом районе при добыче нефти. Разработанный методический комплекс геоэкологических исследований может быть использован при изучении других карстовых районов.

Список источников

1. Адерхольд Г. Классификация провалов и мульд оседаний в карстоопасных районах Гессена // Рекомендации по оценке геологических рисков при проведении строительных мероприятий: монография. Н. Новгород: ННГАСУ, 2010. 109 с.
2. Бачурин Б.А. Современные геохимические технологии идентификации источников нефтяного загрязнения гидросферы // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2017. № 11. С. 45–50.
3. Борисов А.А., Бачурин Б.А. О природе нефтезагрязнения Камского водохранилища в районе Полазненского месторождения // Горное эхо. 2019. № 3(76). С. 17–20. doi: 10.7242/echo.2019.3.5.
4. Борисов А.А., Бачурин Б.А. Современные газогеохимические технологии контроля процессов техногенеза в геологической среде // Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых: матер. Межд. науч. конф., посвящённой 110-летию со дня рождения академика Константина Игнатьевича Лукашёва (1907–1987), Минск, 23–25 мая 2017 года. Минск: Право и экономика. 2017. С. 57–59.
5. Бородулина Т.С., Полонский В.И. Влияние нефтезагрязнения почвы на физиологические характеристики растений пшеницы // Вестник КрасГАУ. 2010. № 5. С. 50–55.
6. Бузмаков С.А. Техногенные изменения компонентов природной среды в нефтедобывающих районах Пермской области / С. А. Бузмаков, С. М. Костарев. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2003. 171 с.
7. Быков В.Н. Нефтегазовое карстование / Перм. ун-т. Пермь, 2002. 351 с.
8. Гайнутдинов М.З. О токсичности нефти // Проблема разработки автоматизированных систем наблюдения, контроля и оценки состояния окружающей среды: мат. Всес. науч. техн. конф. Казань, 1979. С. 141–143.
9. Гашев С.Н., Рыбин А.В., Казанцева М.Н., Соромотин А.В. Масштабы нефтесолевого загрязнения Ханты-Мансийского автономного округа и объемы средств на рекультивацию // Биологическая рекультивация нарушенных земель: тез. докл. Межд. совещ. Екатеринбург, 1996. С. 27–30.
10. Исмаилов Н.М. Микробиология и ферментативная активность нефтезагрязненных почв // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 42–56.
11. Катаев В.Н., Печенкина Е.И. Поверхностные формы карста Ясылского поля // Гидрогеология и карстование: межвуз. сб. науч. тр. / Перм. ун-т. Пермь, 2000. Вып. 13. С. 238–246.
12. Московченко Д.В. Экогеохимия нефтегазодобывающих районов Западной Сибири / Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т проблем освоения Севера. Новосибирск: Гео, 2013. 259 с.
13. Мукатанов А.Х., Ривкин П.Р. Влияние нефти на свойства почв // Нефт. хоз-во. 1980. № 4. С. 53–54.
14. Нефти, газы и битумоиды Пермского Прикамья и сопредельных районов: Каталог физ.-хим. свойств / под ред. заслуж. геолога РСФСР С.А. Винниковского и канд. хим. наук А.З. Кобловой; Всес. науч.-исслед. геол.-развед. нефт. ин-т. Пермь, 1977. 568 с.
15. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде: монография. М.: ИНФРА-М, 2019. 207 с.
16. Пиковский Ю.И., Солнцева Н.П. Геохимическая трансформация дерново-подзолистых почв под влиянием потоков нефти // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. М.: Наука, 1981. С. 149–154.
17. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021621102 Российская Федерация. Техногенная трансформация природной среды в карстовом районе: № 2021620770: заявл. 21.04.2021; опубл. 27.05.2021 / Ю.В. Хотяновская, Д.Н. Андреев, С.А. Бузмаков и др.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет».
18. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 376 с.
19. Соромотин А.В. Воздействие добычи нефти на таежные экосистемы Западной Сибири: монография. Тюмень: Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 2010. 320 с.

Экология и природопользование
Хотяновская Ю.В., Бузмаков С.А., Кучин Л.С.

20. Соромотин А.В., Гашев С.Н., Казанцева М.Н. Солевое загрязнение таежных биогеоценозов при нефтедобыче в Среднем Приобье // Проблемы географии Западной Сибири. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 1996. С. 121–131.
21. Хотяновская Ю.В. Некоторые аспекты трансформации экосистем в карстовом районе при добыче нефти // Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: сб. мат. Всерос. школы-семинара, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка, Пермь, 22–23 апреля 2021 года. Пермь: Изд-во Перм. гос. нац. исслед. ун-та, 2021. С. 154–157.
22. Хотяновская Ю.В., Бузмаков С.А., Воронов Г.А., Андреев Д.Н. Техногенные источники поступления нефтепродуктов в поверхностные водные объекты карстового района // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. VII Всерос. науч.-практ. конф. с межд. участ.: в 3 т. Пермь, 30 мая – 02 июня 2019 года, научн. ред.: А.Б. Китаев, В.Г. Калинин, К.Д. Микова. Пермь: Изд-во Перм. гос. нац. исслед. ун-та, 2019. С. 205–210.
23. Щербак Г.Г., Фоминых Д.Е. Техногенное засоление и возможности рекультивации почв на территориях нефтяных месторождений Западной Сибири // Инженерные изыскания. 2012. № 9. С. 66–71.
24. Buzmakov S.A., Andreev D.N., Zaytsev A.A., Khotyanovskaya Y.V., Voronov G.A. Possible sources of pollution by oil products of water body in karst area // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Perm. P. 012051. 2019. doi: 10.1088/1755-1315/321/1/012051.
25. Heinz B., Birk S., Liedl R., Geyer T. et al. Water quality deterioration at a karst spring (Gallusquelle, Germany) due to combined sewer overflow: Evidence of bacterial and micro-pollutant contamination. *Environmental Geology*. Vol. 57. P. 797–808. 2009. doi: 10.1007/s00254-008-1359-0.
26. Khotyanovskaya Y., Buzmakov S., Sannikov, P. Identification of oil mining technogenesis based on aerial photography data. *J Soils Sediments*. Vol. 23. P. 973–988. 2023. doi: 10.1007/s11368-022-03357-y.

References

1. Aderhol'd, G. (2010), *Klassifikatsiya provalov i mul'd osedaniy v karstoopasnykh rajonah Gessena. Rekomendatsii po ocenke geologicheskikh riskov pri provedenii stroitel'nykh meropriyatij: monografiya*, NNGASU, N. Novgorod, Russia.
2. Bachurin, B.A. Kostarev, S.M. (2017), Modern geochemical technologies to identify the hydrosphere oil pollution sources, *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, no 11, pp. 45–50.
3. Borisov, A.A., Bachurin, B.A. (2019), O prirode neftezagryazneniya Kamskogo vodohranilishcha v rajone Polaznenskogo mestorozhdeniya, *Gornoe echo*, no 3(76), pp. 17–20. doi: 10.7242/echo.2019.3.5.
4. Borisov, A.A., Bachurin, B.A. (2017), Sovremennye gazogehimicheskie tekhnologii kontrolya processov tekhnogeneza v geologicheskoy srede, *Sovremennye problemy geohimii, geologii i poiskov mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh: materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchyonnoj 110-letiyu so dnya rozhdeniya akademika Konstantina Ignat'evicha Lukashyova (1907–1987)*, Minsk, 23–25 maya 2017 goda., Pravo i ekonomika, Minsk, Belarus, pp. 57–59.
5. Borodulina, T.S., Polonsky, V.I. (2010), Influence of soil oil pollution on the physiological characteristics of wheat plants, *Vestnik KrasGAU*, no. 5, pp. 50–55.
6. Buzmakov, S.A. (2003), *Tekhnogennye izmeneniya komponentov prirodnoy sredy v neftedobyvayushchih rajonah Permskoy oblasti*, Izd-vo Perm. un-ta, Perm', Russia.
7. Bykov, V.N. (2002), *Neftegazovoe karstovedenie*, Perm. un-t. Perm', Russia.
8. Gajnutdinov, M.Z. (1979), O toksichnosti nefti. Problema razrabotki avtomatizirovannykh sistem nablyudeniya, kontrolya i ochenki sostoyaniya okruzhayushchej sredy, *Materialy Vsesoyuz. nauch. tekhn. konf.* Kazan', Russia, pp. 141–143.
9. Gashev, S.N., Rybin, A.V., Kazanceva, M.N., Soromotin, A.V. (1996), Masshtaby neftesolevogo zagryazneniya Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga i ob"emy sredstv na rekul'tivaciyu, *Biologicheskaya rekul'tivatsiya narushennykh zemel': tez. dokl. Mezhdunar. Soveshn.* Ekaterinburg, Russia, pp. 27–30.
10. Ismailov, N.M. (1988), Mikrobiologiya i fermentativnaya aktivnost' neftezagryaznennykh pochv, *Vosstanovlenie neftezagryaznennykh pochvennykh ekosistem*, Nauka, Moscow, Russia, pp. 42–56.
11. Kataev, V.N., Pechenkina, E.I. (2000), Poverhnostnye formy karsta YAsyl'skogo polya, *Gidrogeologiya i karstovedenie: Mezhdunar. sb. nauch. tr.* Perm. un-t, vol. 13, pp. 238–246.
12. Moskovchenko, D.V. (2013), *Ekogehimiya neftegazodobyvayushchih rajonov Zapadnoj Sibiri*, Ros. akad. nauk, Sib. otd-nie, In-t problem osvoeniya Severa, Geo, Novosibirsk, Russiap.
13. Mukatanov, A.H., Rivkin, P.R. (1980), Vliyanie nefti na svoystva pochv, *Neft. hoz-vo*, no. 4, pp. 53–54.
14. *Nefti, gazy i bitumoidy Permskogo Prikam'ya i sopredel'nykh rajonov.* (1977), Katalog fiz.-him. Svoystv, Pod red. zasluzh. geologa RSFSR S.A. Vinnikovskogo i kand. him. nauk A.Z. Koblovoj; Vsesoyuz. nauch.-issled. geol.-razved. nef. in-t, Kam. otd-nie, ob"edinenie «Permneft'», Russia.
15. Pikovskij Yu.I. (2019), *Prirodnye i tekhnogennye potoki uglevodorodov v okruzhayushchej srede. Monografiya*, INFRA-M, Moscow, Russia.
16. Pikovskij, Yu.I., Solnceva, N.P. (1981), Geohimicheskaya transformatsiya dernovo-podzolistykh pochv pod vliyaniem potokov nefti, *Tekhnogennye potoki veshchestva v landshaftah i sostoyanie ekosistem*, Nauka, Moscow, Russia, pp. 149–154.
17. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii bazy dannykh № 2021621102 Rossijskaya Federatsiya. Tekhnogennaya transformatsiya prirodnoy sredy v karstovom rajone: № 2021620770: zayavl. 21.04.2021: opubl. 27.05.2021. Y.V. Khotyanovskaya, D.N. Andreev, S.A. Buzmakov [i dr.]; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Permskij gosudarstvennyj nacional'nyj issledovatel'skij universitet».
18. Solnceva, N.P. (1998), *Dobycha nefti i geohimiya prirodnykh landshaftov*, MGU, Moscow, Russia.
19. Soromotin, A.V. (2010), *Vozdejstvie dobychi nefti na taezhnye ekosistemy Zapadnoj Sibiri. Monografiya*, Izdatel'stvo Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta, Tyumen', Russia.
20. Soromotin, A.V., Gashev, S.N., Kazanceva, M.N. (1996), Solevoe zagryaznenie taezhnykh biogeocенозов pri neftedobyche v Srednem Priob'e, *Problemy geografii Zapadnoj Sibiri*, Tyumen', Russia, pp. 121–131.
21. Khotyanovskaya, Yu.V. (2021), Some aspects of the transformation of ecosystems in the karst region during oil

Экология и природопользование
Хотяновская Ю.В., Бузмаков С.А., Кучин Л.С.

production, *Ekologicheskaya bezopasnost' v usloviyah antropogennoj transformacii prirodnoj sredy: sbornik materialov vserossijskoj shkoly-seminara, posvyashchennoj pamyati N.F. Rejmersa i F.R. Shtil'marka, Perm', 22–23 aprelya 2021 goda, Permskij gosudarstvennyj nacional'nyj issledovatel'skij universitet, Perm', Russia*, pp. 154–157.

22. Khotyanovskaya, Yu.V., Buzmakov, S.A., Voronov, G.A., Andreev, D.N. (2019), Technogenic sources of petroleum production into surface water objects of karst region, *Sovremennye problemy vodohranilishch i ih vodosborov: Trudy VII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. V 3-h tomah, Perm', 30 maya – 02 iyunya 2019 goda, Nauchnyj redaktor: A.B. Kitaev, V.G. Kalinin, K.D. Mikova, Permskij gosudarstvennyj nacional'nyj issledovatel'skij universitet, Perm', Russia*, pp. 205–210.

23. Shcherbak, G.G., Fominyh, D.E. (2012), Technogenic salinization of soils in the western siberia oil fields and their reclaiming, *Inzhenernye izyskaniya*, no. 9, pp. 66–71.

24. Buzmakov, S.A., Andreev, D.N., Zaytsev, A.A., Khotyanovskaya, Y.V., Voronov, G.A. (2019), Possible sources of pollution by oil products of water body in karst area, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, P. 012051. doi: 10.1088/1755-1315/321/1/012051.

25. Heinz, B., Birk, S., Liedl, R., Geyer, T. et al. (2009), Water quality deterioration at a karst spring (Gallusquelle, Germany) due to combined sewer overflow: Evidence of bacterial and micro-pollutant contamination, *Environmental Geology*, vol. 57, pp. 797–808. doi: 10.1007/s00254-008-1359-0.

26. Khotyanovskaya, Y., Buzmakov, S., Sannikov, P. (2023), Identification of oil mining technogenesis based on aerial photography data, *J Soils Sediments*, vol. 23, pp. 973–988. doi: 10.1007/s11368-022-03357-y.

Статья поступила в редакцию: 02.02.2023; одобрена после рецензирования: 28.02.2023; принята к опубликованию: 06.03.2023.

The article was submitted: 2 February 2023; approved after review: 28 February 2023; accepted for publication: 6 March 2023.

Информация об авторах

Information about the authors

Юлия Владимировна Хотяновская

старший преподаватель кафедры биогеоценологии и охраны природы, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Yuliya V. Khotyanovskaya

Senior Lecturer, Department of Biogeocenology and Environmental Protection, Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

e-mail: 79082412863@yandex.ru

Сергей Алексеевич Бузмаков

доктор географических наук, профессор кафедры биогеоценологии и охраны природы, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

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

Леонид Сергеевич Кучин

магистрант кафедры биогеоценологии и охраны природы, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Leonid S. Kuchin

Master's Degree Student, Department of Biogeocenology and Environmental Protection, Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

e-mail: kleond@bk.ru

Вклад авторов:

Хотяновская Ю.В. – идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, редактирование текста

Бузмаков С.А. – идея, научное редактирование текста, написание статьи

Кучин Л.С. – подготовка карт, схем, анализ и обобщение источников литературы

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Contribution of the authors:

Yuliya V. Khotyanovskaya – the idea; material collection and processing; writing of the article; text editing.

Sergei A. Buzmakov – the idea; scientific editing of the text; writing of the article

Leonid S. Kuchin – preparation of the maps and diagrams; analysis and generalization of literature sources

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.