

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЯ В МЕРЗЛОТНЫХ ПОЧВАХ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ЯКУТИИ

С.Х. Лифшиц, Ю.С. Глянцева✉, О.Н. Чалая, И.Н. Зуева

ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» Институт проблем нефти и газа СО РАН, Россия, 677007, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Автодорожная, д. 20

gchlab@ipng.ysn.ru

Приведены результаты исследований биодegradации нефтезагрязнений на техногенных объектах (нефтебазах) различных климатических зон Якутии. Все изученные территории характеризуются сплошным распространением многолетнемерзлых пород, однако установлены различные механизмы биодegradации нефтезагрязнений в почвах этих территорий. Показано, что механизм дegradации нефтезагрязнения зависит от климатических условий, а температура является главным фактором, влияющим на активность почвенной микрофлоры и ее разнообразие. Установлено, что окислительная деструкция нефтезагрязнения в умеренной зоне с резко-континентальным климатом протекает преимущественно благодаря процессам биодegradации, а в арктической зоне под влиянием физико-химических факторов среды. Биодegradация нефтезагрязнения в арктических почвах осуществляется по типу гниения. В результате эти почвы начинают заселять гнилостные и патогенные микроорганизмы. Рекомендуется проведение исследований по разработке эффективных способов очистки арктических почв от нефтезагрязнений.

Ключевые слова: нефтезагрязнение почв, криолитозона, окислительная деструкция, биодegradация

Ссылка для цитирования: Лифшиц С.Х., Глянцева Ю.С., Чалая О.Н., Зуева И.Н. Особенности трансформации нефтезагрязнения в мерзлотных почвах техногенных объектов Якутии // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 112–120. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-112-120

В настоящее время нефтезагрязнение почв стало одним из наиболее распространенных явлений негативного характера. Нефтяные углеводороды классифицируются как приоритетные загрязнители окружающей среды [1]. В связи с возрастающим потреблением углеводородного сырья современным обществом эта проблема признана актуальной. Большой интерес вызывает Арктический регион, где, по мнению геологов, сосредоточены огромные запасы углеводородов [2, 3]. Согласно Стратегии защиты окружающей среды Арктики (АЕПС) нефть уже сейчас является одним из основных загрязнителей арктического региона [4]. Перспективное его освоение, связанное преимущественно с добычей углеводородов, ставит перед научным сообществом необходимость решения экологических задач, направленных на защиту окружающей среды от нефтезагрязнений [5, 6]. Своевременное выявление нефтезагрязнений и разработка методов их ликвидации позволит минимизировать негативные последствия антропогенного воздействия на окружающую среду. В связи с этим перед экологами стоит проблема разработки эффективных способов очистки мерзлотных почв от нефтезагрязнений. Выявление поверхностных углеводородных полей техногенного генезиса возможно лишь при сравнении полученных аналитических результатов о содержании углеводородных компонентов в почвах и

донных осадках с геохимическим фоном [7, 8]. Это позволяет определять нефтезагрязнение с учетом вклада углеводородов природного происхождения.

Территория Республики Саха (Якутия) расположена в трех широтных природно-климатических зонах: арктической, субарктической и умеренной с резко-континентальным климатом, представляющих также разные типы ландшафтов [9]. В пределах этих зон наблюдается распространение многолетнемерзлых пород [10]. Однако глубина протайки, толщина мерзлотного слоя, среднегодовые температуры пород существенно различаются для разных климатических зон [11], что, по-видимому, отражается на скоростях и механизме процессов трансформации нефтезагрязнения в почвах. Почвы криолитозоны обладают низкой способностью к самовосстановлению [12]. Исследования показали, что несмотря на существование большого количества разработанных способов восстановления территорий от загрязнения их нефтью [13], наиболее экологичны биологические способы очистки, особенно в северных регионах [14–16]. Деятельность микроорганизмов сосредоточена в основном в приповерхностных слоях почвы. В северных регионах температура в этих почвенных горизонтах большую часть времени сохраняется отрицательной, что накладывает отпечаток на активность почвенной микрофлоры и способность почв к восстановлению. Процесс самовосстановления растягивается на

длительное время. Кроме того, продукты деградации нефтезагрязнения могут оказывать токсическое влияние на почвенные биоценозы [12]. Накопление в почвах углеводородных поллютантов ведет к трансформации геохимического фона по углеводородным компонентам, изменяя качественный и количественный состав микрофлоры [17].

В настоящее время нефтезагрязнение почв в Якутии сосредоточено в основном на объектах нефтегазовых комплексов, поэтому исследования посвящены изучению почв криолитозоны, затронутых техногенным вмешательством, и механизму деструкции нефтяных углеводородов в различных климатических зонах территории республики. Это важно для разработки биологических способов восстановления мерзлотных почв от нефтезагрязнений и оценки их эффективности.

Цель работы

Цель работы — изучение процессов трансформации нефтезагрязнений на техногенных объектах (нефтебазах), расположенных в различных климатических зонах Якутии.

Объекты и методы исследования

Объектами для исследования служили территории нефтебаз разных природно-климатических зон:

- арктическая зона: действующая Нижнеколымская нефтебаза и нефункционирующая база «Нижние кресты» (пос. Петушки);
- граница субарктической и умеренной зон: Сангарская нефтебаза;
- умеренная зона с резко-континентальным климатом: Якутская нефтебаза.

Территории всех нефтебаз находятся в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород [11]. На всех перечисленных нефтебазах были изучены участки со старыми сроками нефтезагрязнения: 10 лет и более.

Пробы почв отбирали с глубины 0...10 см чистым инструментом в соответствии с утвержденной методикой [18]. Для сравнения и изучения природного геохимического фона отбирали также пробы с чистых территорий, находящихся на расстоянии не менее 150 м от места разлива и не затронутых нефтезагрязнением.

Уровень нефтезагрязнения определяли по выходу холодного хлороформенного экстракта (ХЭ). Такой метод определения позволяет не только экстрагировать нефтяные углеводороды, но и изучать продукты их трансформации [19]. Выделенные экстракты изучали методами ИК-Фурье спектроскопии (ИК-Фурье спектрометр Protege 460, фирма Nicolet), жидкостно-адсорбционной

хроматографии и хромато-масс-спектрометрии (ГХ/МС). Метод жидкостно-адсорбционной хроматографии использовали для определения группового компонентного состава экстрактов. Суть метода [20] заключается в первоначальном осаждении асфальтенов петролейным эфиром с последующим вымыванием фракций углеводородов и смол различными органическими растворителями на сорбционной колонке с силикагелем. ГХ/МС-исследования по изучению индивидуального состава углеводородных фракций ХЭ проводили по методике [21] на системе, включающей газовый хроматограф Agilent 6890, имеющий интерфейс с высокоэффективным масс-селективным детектором Agilent 5973N. Хроматограф снабжен кварцевой капиллярной колонкой длиной 30 м, диаметром 0,25 мм, импрегнированной фазой HP-5MS. Газ-носитель — гелий, скорость потока 1 мл/мин. Температура испарителя — 320 °С. Программирование подъема температуры осуществлялось в интервале температур 100...300 °С со скоростью 6 °С/мин. Ионизирующее напряжение источника 70 эВ.

Все аналитические исследования проводили в трех повторностях. В таблицах полученные результаты представлены в виде средней арифметической величины и ее стандартной ошибки ($M \pm SEM$). Сравнение средних значений выборок проводили методом однофакторного дисперсного анализа (ANOVA). Значимость отличий от контроля определяли, используя критерий Даннета для множественных сравнений при уровне $p < 0,05$. Расчет проводился с помощью пакета AnalystSoft, StatPlus — программа статистического анализа, v.2007.

Результаты и обсуждение

Результаты исследований по определению уровня нефтезагрязнения изучаемых образцов почв и составу ХЭ приведены в таблице.

Как видно, уровень нефтезагрязнения в исследуемых пробах почв высокий и очень высокий. Поскольку пробы почв отбирались в местах, характеризующихся давними загрязнениями (10 лет и более), нефтяные углеводороды подверглись окислительной деструкции. Так, в ИК-спектрах ХЭ всех нефтезагрязненных проб появились полосы поглощения (п. п.) кислородсодержащих групп: карбонильных 1700 см^{-1} и гидроксильных $3300...3400 \text{ см}^{-1}$ (рис. 1).

Тем не менее в структурно-групповом составе ХЭ все еще велика доля ароматических структур (п. п. 1600 см^{-1} , см. рис. 1), характерных для нефти и нефтепродуктов. Для сравнения на рис. 1 приведен ИК-спектр ХЭ чистой пробы почв. Как видно, в чистых почвах компоненты с ароматическими структурами практически отсутствуют.

Выход и состав хлороформных экстрактов

Yield and composition of chloroform extracts

Природно-климатическая зона	Место отбора проб	Выход ХЭ, %	Углеводороды, %	Групповой состав ХЭ, %	
				Сумма смол	Асфальтены
Умеренная зона с резко-континентальным климатом	Якутская нефтебаза	8,662 ± 0,433	66,67 ± 3,33	32,96 ± 1,65	0,37 ± 0,02
Граница умеренной и субарктической зон	Сангарская нефтебаза	4,701 ± 0,235	61,47 ± 3,07	36,56 ± 1,83	1,97 ± 0,09
Арктическая зона	Нижнеколымская нефтебаза	3,459 ± 0,173	64,90 ± 3,25	15,84 ± 0,79	19,26 ± 0,96
	Нефтебаза «Нижние кресты»	4,815 ± 0,241	60,23 ± 3,01	29,33 ± 1,46	10,43 ± 0,52

Несмотря на протекающие процессы окислительной деструкции в составе ХЭ образцов почв с нефтебаз все еще велика доля углеводородов 61,5...66,7 % (см. таблицу). Для сравнения в составе чистых почв содержание углеводородов обычно не превышает 15...28 % [19].

Известно, что нефтезагрязнение способно подвергаться процессам окислительной деструкции под влиянием физико-химических факторов среды и микробиологического окисления. Микробиологическое окисление характеризуется избирательностью окисления нефтяных насыщенных углеводородов. Первыми в процессы биodeградации вовлекаются *n*-алканы и затем только изопреноиды [22, 23]. В результате обычно на хроматограммах углеводородных фракций из старых загрязнений появляется так называемый «горб», обусловленный высокомолекулярными неразделенными структурами нафтеново-ароматического строения. На рис. 2 представлены масс-хроматограммы углеводородных фракций изученных образцов и для сравнения — фоновой пробы почвы. Видно, что на территориях Якутской и Сангарской нефтебаз протекали процессы трансформации нефтяных углеводородов (см. рис. 2, а, б). По результатам микробиологического анализа из проб почв этих нефтебаз были выделены углеводородоокисляющие микроорганизмы (УОМ) [24].

На действующей Нижнеколымской нефтебазе распределение индивидуальных углеводородов все еще сохраняет характер, близкий к таковому в нефтепродуктах (дизельное топливо) (см. рис. 2, в). На этой нефтебазе в местах отбора проб новых разливов не было зафиксировано. Однако вследствие высокой подвижности нефтяных углеводородов с дождевыми, талыми и сезонно-талыми водами возможно повторное загрязнение этих мест углеводородами от свежих разливов с других участков нефтебазы. Нефтебаза «Нижние кресты» более 10 лет назад выведена из эксплуатации. Следовательно, на этой терри-

тории не было свежих разливов. Тем не менее и там состав ХЭ все еще носит углеводородный характер — 60,23 %, а в составе углеводородных фракций присутствуют относительно низкомолекулярные *n*-алканы (см. рис. 2, з). В пробах почв, отобранных с арктических нефтебаз, углеводородоокисляющие микроорганизмы либо не были обнаружены, либо содержание их было крайне мало [17], при том, что питательная среда из углеводородов нефти для них еще не была исчерпана. Вследствие этого можно предположить, что на территории этих объектов окислительная деструкция нефтезагрязнения протекала преимущественно под влиянием физико-химических факторов среды, а не микробиологического окисления. В результате в нефтезагрязненных арктических почвах началось распространение гнилостных и патогенных микроорганизмов [17], как конкурентов за доступное органическое вещество [25, 26].

Под биodeградацией нефтезагрязнения обычно понимают процесс окислительной деструкции нефтяных компонентов, протекающий в результате деятельности углеводородоокисляющих микроорганизмов (УОМ). Такой тип биodeградации наиболее эффективен, экологичен и безопасен с точки зрения норм санитарно-гигиенических показателей для почв. Этот механизм лежит в основе всех разрабатываемых способов биологической очистки почв от нефтезагрязнений [27–30].

Однако, вследствие низкого содержания или вообще отсутствия в нефтезагрязненных арктических почвах УОМ, эти почвы начали обживать гнилостные и патогенные микроорганизмы [17], т. е. биodeградация нефтезагрязнения преимущественно протекала по типу гниения.

Вероятно, механизм биodeградации нефтезагрязнения в почвах криолитозоны в первую очередь зависит от приповерхностной почвенной температуры. Согласно работам [31–32], температура является главным фактором, влияющим на активность почвенной микрофлоры и ее разнообразие.

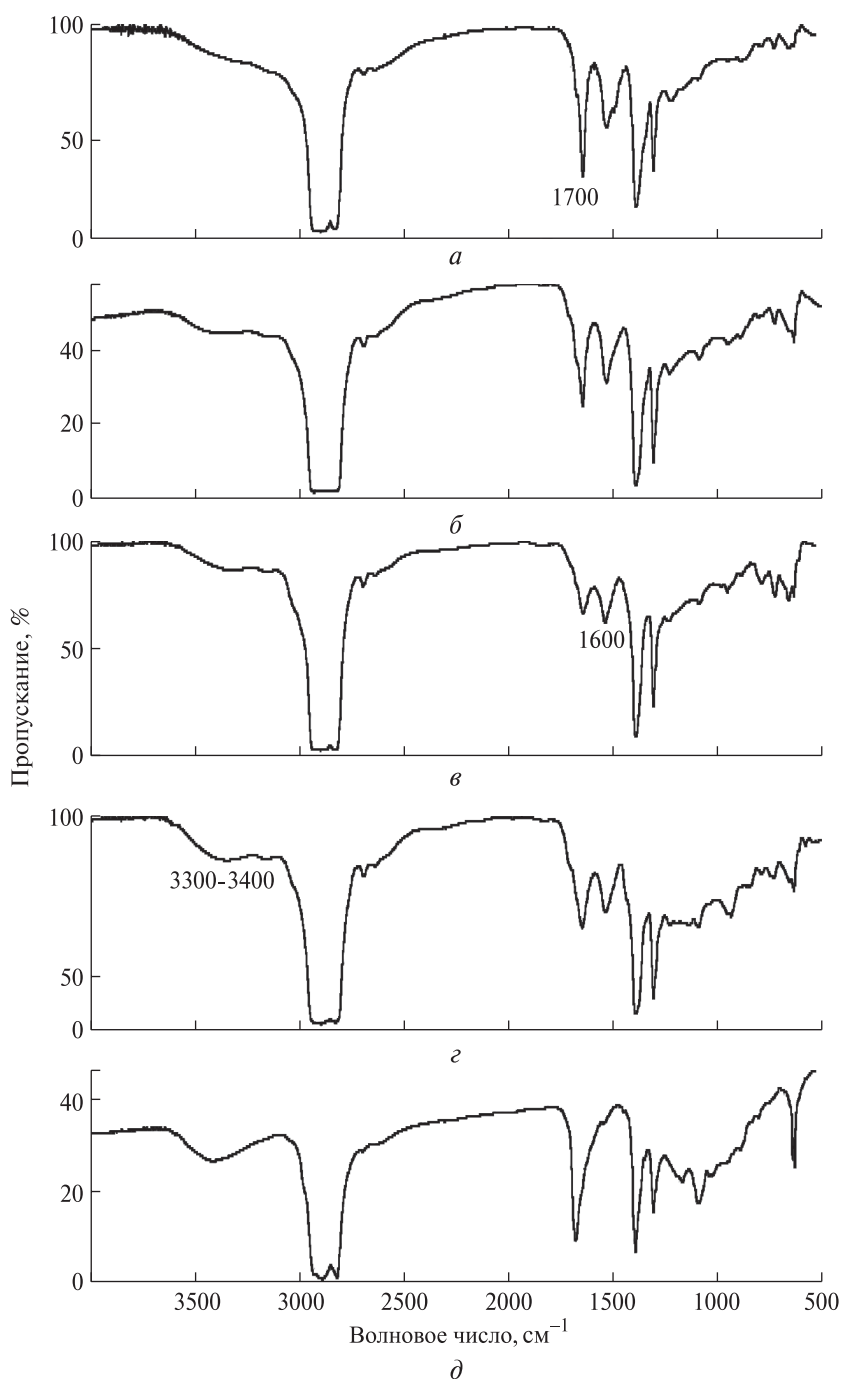


Рис. 1. ИК-спектры ХЭ исследуемых проб почв: нефтебазы: а — Якутская; б — Сангарская; в — Нижнеколымская; г — «Нижние кресты»; д — фоновая проба почвы

Fig. 1. IR spectra of CE of the studied soil samples: oil depots: а — Yakutsk; б — Sangarskaya; в — Nizhnekolymskaya; г — «Nizhnie cresty»; д — background soil sample

Так, среднегодовая температура пород в Арктике варьирует в диапазоне $-9...-11$, в то время как в Центральной Якутии (Якутск и Сангар) $-3...-5$ [11]. Различается и длительность зимнего сезона: в Нижнеколымском районе он составляет 247 сут, а в центральной Якутии — 212 сут. По-видимому, УОМ менее жизнеспособны в

условиях длительного периода отрицательных температур. К тому же в замерзших почвах они испытывают недостаток поступления кислорода. Вследствие этого численность их в арктических почвах невелика, и биodeградация нефтезагрязнения в этих почвах протекает преимущественно по типу гниения.

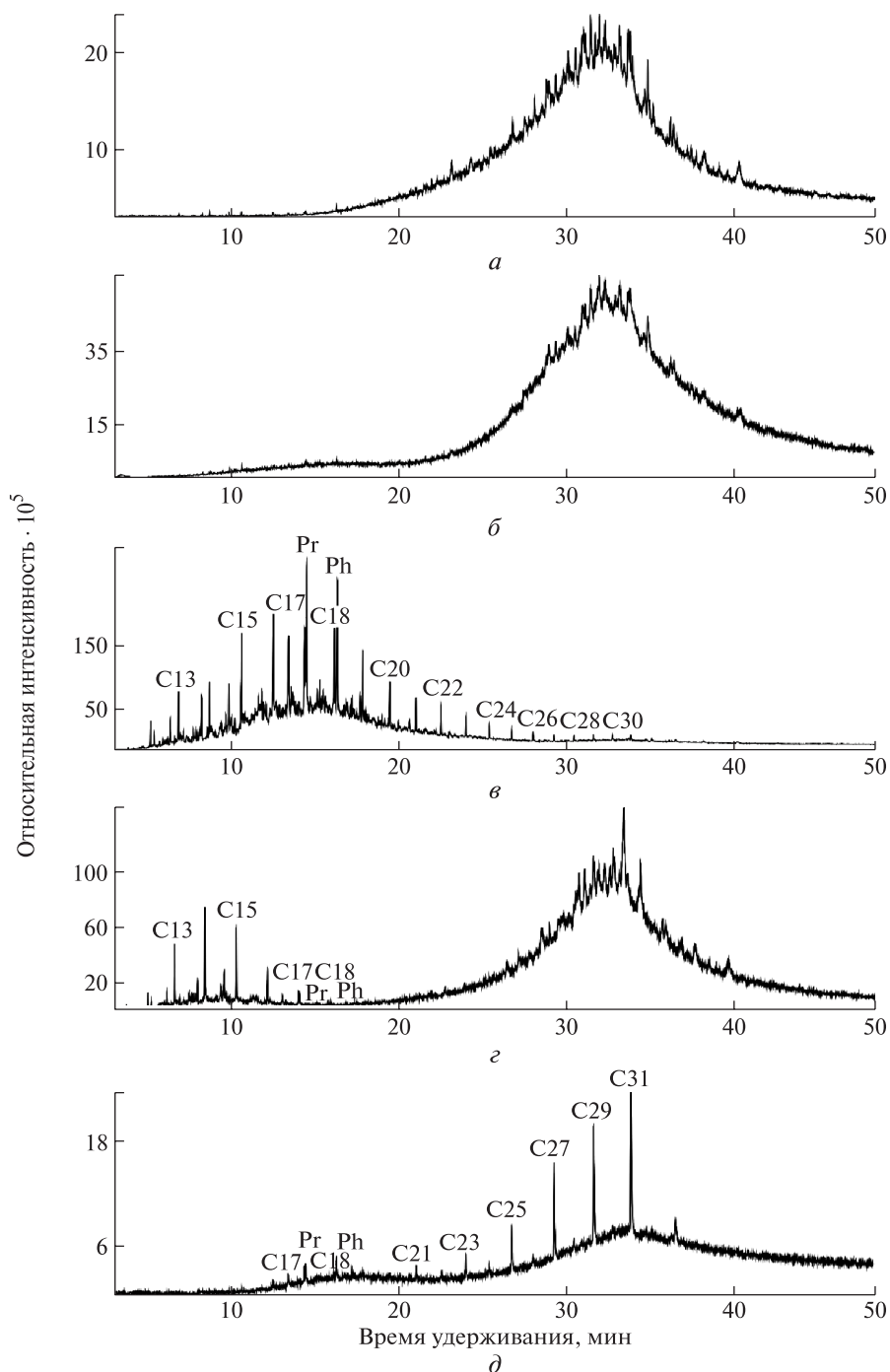


Рис. 2. Масс-хроматограммы углеводородных фракций ХЭ исследуемых проб почв: нефтебазы: а — Якутская; б — Сангарская; в — Нижнеколымская; г — «Нижние кресты»; д — фоновая проба почвы; C₁₃...C₃₁ — н-алканы; Pr — пристан; Ph — фитан

Fig. 2. Hydrocarbon fractions of CE mass chromatograms of the studied soil samples: oil depots: а — Yakutsk; б — Sangarskaya; в — Nizhnekolymskaya; г — «Nizhnie cresty»; д — background soil sample; C₁₃...C₃₁ — n-alkanes; Pr — pristan; Ph — phytane

Выводы

Результаты исследований, проведенных на территориях нефтебаз Якутии, показали, что процессы биодegradации нефтезагрязнений протекают по разным механизмам. Все изученные территории характеризуются сплошным распространением многолетнемерзлых пород, однако

различаются по климатическим условиям. Так, Якутская нефтебаза находится в умеренной зоне с резко-континентальным климатом, Сангарская — на границе умеренной и субарктической зон, Нижнеколымская и нефтебаза «Нижние кресты» — в арктической зоне. Длительный период отрицательных температур (247 сут), более низкая

среднегодовая температура пород (–9...–11) в арктической зоне по сравнению с Центральной Якутией (–3...–5, продолжительность зимнего периода 212 сут), накладывают отпечаток на протекание процессов биодegradации нефтезагрязнения. В Центральной Якутии (в умеренной зоне) окислительная деструкция происходит в основном под влиянием углеводородокисляющих микроорганизмов, а в арктической зоне под влиянием физико-химических факторов среды. Как результат, процессы биодegradации нефтезагрязнения в арктических почвах протекают в основном по типу гниения и техногенно нарушенные нефтезагрязнением почвы начинают заселять гнилостные и патогенные микроорганизмы. Все это свидетельствует о необходимости разработки способов восстановления мерзлотных почв от нефтезагрязнений.

Работа выполнена в рамках Госзадания Министрства науки и высшего образования РФ № 122011200369-1 с использованием научного оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН в рамках гранта №13.ЦКП.21.0016.

Список литературы

- [1] Abbasian F., Lockington R., Mallavarapu M., Naidu R. A comprehensive review of aliphatic hydrocarbon biodegradation by bacteria // Appl. Biochem. Biotechnol., 2015, v. 176, pp. 670–699. <https://doi.org/10.1007/s12010-015-1603-5/>
- [2] Арчевов В.Б., Нефедов Ю.В. Стратегия нефтегазописковых работ в оценке топливно-энергетического потенциала шельфа арктических морей России // Записки Горного института, 2015. Т. 212. С. 6–13.
- [3] Carayannis E., Ilinova A., Chanysheva A. Russian arctic offshore oil and gas projects: methodological framework for evaluating their prospects // J. Knowl. Econ., 2020, v. 11, pp. 1403–1429. <https://doi.org/10.1007/s13132-019-00602-7>
- [4] Heininen L., Everett K., Padrtova B., Reissell A. Arctic Policies and Strategies-Analysis, Synthesis, and Trends. ПАСА, Laxenburg, Austria, 2020, 263 p. <https://doi.org/10.22022/AFI/11-2019.16175>
- [5] Капелькина Л.П. Нарушенные земли Севера и проблемы рекультивации // Арктика. Экология и экономика, 2011. Т. 3. С. 60–67.
- [6] Сафронов А.Ф. Некоторые проблемы освоения углеводородных ресурсов Восточного Арктического сектора России // Экономика Востока России, 2015. Т. 02(004). С. 21–25.
- [7] Glyaznetsova Y.S., Lifshits S.K., Zueva I.N., Chalaya O.N. Transformation of oil-contaminated soils of cryolithozone // Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, POAC : 26, Moscow, 14–18 июня 2021 года. Moscow, 2021. URL: <https://www.poac.com/Proceedings/2021/POAC21-021.pdf> (дата обращения 05.04.2022).
- [8] White D.M., Garland D.S., Woollard C.R. Analytical methods for petroleum in cold region soils // Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons in Cold Regions / Eds. D.M. Filler, I. Snape, D.L. Barnes. Cambridge University Press., 2008, pp. 212–230. <https://doi.org/10.1017/SBO9780511535956>
- [9] Якутская АССР. Атлас. Атлас сельского хозяйства Якутской АССР / под ред. И.А. Матвеева. М.: ГУГК, 1989. 1 атл. 115 с.
- [10] Муравьев Ф.А. Геокриологические карты и разрезы. Казань: Изд-во Казанского федерального университета, 2014. 39 с.
- [11] Спектор В.Б., Шестакова А.А., Торговкин Я.И., Спектор В.В. Обобщение данных о криолитозоне на инженерно-геологической карте Республики Саха (Якутия) масштаба 1:1 500 000 // Научный вестник, 2015. № 2(4). С. 59–73.
- [12] Иларионов С.А., Маркарова М.Ю., Назаров А.В., Оборин А.А., Хмурчик В.Т. Нефтезагрязненные биогеоценозы (процессы образования, научные основы восстановления, медико-экологические проблемы). Пермь: Изд-во УрО РАН, 2008. 511 с.
- [13] Camenzuli D., Freidman B.L. On-site and in situ remediation technologies applicable to petroleum hydrocarbon contaminated sites in the Antarctic and Arctic // Polar Research, 2015, v. 34, 24492. pp. 1–19 <http://dx.doi.org/10.3402/polar.v34.24492>
- [14] Rike A.G., Haugen K.B., Børresen M., Engene B., Kolstad P. In situ biodegradation of petroleum hydrocarbons in frozen arctic soils // Cold Regions Science and Technology, 2003, v. 37, pp. 97–120.
- [15] Shen T., Youngrui P., Mutai B., Xu N., Inren L. Bioremediation of different petroleum hydrocarbons by free and immobilized microbial consortia // Environ Sci: Processes Impacts, 2015, v. 17, no. 12, pp. 2022–2033.
- [16] Lifshits S.Kh., Glyaznetsova Yu.S., Chalaya O.N., Zueva I.N. Increase in remediation processes of oil-contaminated soils // Remediation J., 2017, v. 28, pp. 97–104.
- [17] Lifshits S., Glyaznetsova Yu., Erofeevskaya L., Chalaya O., Zueva I. Effect of oil pollution on the ecological condition of soils and bottom sediments of the arctic region (Yakutia) // Environmental Pollution, 2021, v. 288, p. 117680. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117680>ГОСТ 17.4.4.02-2017
- [18] ГОСТ 17.4.4.02–2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ, 2018. 14 с.
- [19] Нефтезагрязнение почвогрунтов и донных отложений на территории Якутии (состав, распространение, трансформация) / под ред. Ю.С. Глязнецовой, А.Ф. Сафронова. Якутск: Ахсаан, 2010. 160 с.
- [20] Методика измерений № 222.0119/01.00258/2014. Определение группового состава хлороформенных битумидов пород, почв и отбензиненных нефтей гравиметрическим методом, 2014. 15 с. URL: <https://ckp-rf.ru/catalog/ckp/3053/> (дата обращения 05.04.2022).
- [21] Методика измерений № 222.0118/01.00258/2014. 2014. Определение состава углеводородных фракций пород, почв и отбензиненных нефтей методом хромато-масс-спектрометрии, 2014. 10 с. URL: <http://ipng.ysn.ru/wp-content/uploads/2020/04/hms-scaled.jpg> (дата обращения 05.04.2022).
- [22] Петров А.А. Углеводороды нефти / под ред. Н.С. Наметкина. М.: Наука, 1984. 263 с.
- [23] Jovančićević B., Antić M., Pavlović I., Vrvic M., Beškoski V., Kronimus A., Schwarzbauer J. Transformation of Petroleum Saturated Hydrocarbons during Soil Bioremediation Experiments // Water Air Soil Pollut, 2008, v. 190, pp. 299–307. DOI 10.1007/s11270-007-9601-z
- [24] Ерофеевская Л.А. Мониторинг биологической активности почвенных экосистем в условиях нефтяного загрязнения // Перспективы науки, 2014. № 3(54). С. 117–120.

- [25] Барышникова Н.В., Павлова М.А., Черемная Е.В., Макаревич Е.В. Биодegradация нефтяных углеводородов в почвенных образцах с внесением концентрата сточных вод и биопрепарата «микрозим» // Успехи современного естествознания, 2011. № 8. С. 22–23.
- [26] Алиев И.А., Ибрагимов Э.А. Развитие и характерные особенности потенциально патогенных грибов загрязненных почв // Почвоведение и агрохимия, 2021. № 4. С. 33–42.
- [27] Zhou H., Jiang L., Chen C. Enhanced bioremediation of diesel oil-contaminated seawater by a biochar-immobilized biosurfactant-producing bacteria *Vibrio* sp. LQ2 isolated from cold seep sediment // The Science of the Total Environment, 2021, v. 793, p. 148529. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148529>
- [28] Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons in Cold Regions / Ed. D.M. Filler, I. Snape, D.L. Barnes. Cambridge University Press, 2008, 273 p.
- [29] Ossai I.C., Ahmed A., Hassan A. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. Environmental Technology & Innovation, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100526>
- [30] Sui X., Wang X., Li Y., Ji H. Remediation of petroleum-contaminated soils with microbial and microbial combined methods: Advances, mechanisms and challenges // Sustainability, 2021, v. 13, p. 9267. <https://doi.org/10.3390/su13169267>
- [31] Chong C.W., Silvaraj S., Supramaniam Y., Snape I., Tan I.K.P. Effect of temperature on bacterial community in petroleum hydrocarbon-contaminated and uncontaminated Antarctic soil // Polar Biol., 2018, v. 41, pp. 1763–1775. <https://doi.org/10.1007/s00300-018-2316-3>
- [32] Nemirovskaya I.A., Glyaznetsova Yu.S. The effect of accidental spill of diesel fuel in Noril'sk on hydrocarbon concentrations and composition in bottom sediments // Water Resources, 2022, v. 49, no. 6, pp. 1027–1039. <https://doi.org/10.1134/S0097807822060100>

Сведения об авторах

Лифшиц Сара Хаимовна — канд. хим. наук, ведущий науч. сотр., ФГБУН ФИЦ ЯНЦ Институт проблем нефти и газа СО РАН, shlif@ipng.ysn.ru

Глязнецова Юлия Станиславовна — канд. хим. наук, ведущий науч. сотр., заведующая лабораторией геохимии каустобиолитов ФГБУН ФИЦ ЯНЦ Институт проблем нефти и газа СО РАН, gchlab@ipng.ysn.ru

Чалая Ольга Николаевна — канд. геолого-минералогических наук, ведущий науч. сотр., ФГБУН ФИЦ ЯНЦ Институт проблем нефти и газа СО РАН, oncha@ipng.ysn.ru

Зуева Ираида Николаевна — канд. геолого-минералогических наук, ведущий науч. сотр., ФГБУН ФИЦ ЯНЦ Институт проблем нефти и газа СО РАН, inzu@ipng.ysn.ru

Поступила в редакцию 07.11.2022.

Одобрено после рецензирования 10.01.2023.

Принята к публикации 30.01.2023.

OIL POLLUTION TRANSFORMATION IN CRYOGENIC SOILS OF TECHNOGENIC ENTITIES IN YAKUTIA

S.Kh. Lifshits, Yu.S. Glyaznetsova[✉], O.N. Chalaya, I.N. Zueva

Institute of Oil and Gas Problems of Federal Research Center «Yakut Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», 20, Avtdorozhnaya st., 677007, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

gchlab@ipng.ysn.ru

The study results on the oil pollution biodegradation at technogenic entities (oil depots) of various climatic zones in Yakutia are presented. All the studied territories are characterized by a perennially frozen rocks, however, various mechanisms of oil pollution biodegradation of the soils in these territories have been established. It is shown that the degradation mechanism of oil pollution depends on climatic conditions, and a temperature is the main factor affecting the activity of soil microflora and its diversity. It has been established the oxidative degradation of oil pollution in the temperate zone with a sharply continental climate runs mainly due to biodegradation processes, and in the Arctic zone it is carried out under the influence of physical and chemical environmental factors. In Arctic soils biodegradation of oil pollution occurs by decay. As a result, the soils begin to colonize putrefactive and pathogenic microorganisms. It is recommended to carry out research on the development of effective methods for cleaning Arctic soils from oil pollution.

Keywords: oil pollution of soils, cryogenic, oxidative degradation, biodegradation

Suggested citation: Lifshits S.Kh., Glyaznetsova Yu.S., Chalaya O.N., Zueva I.N. *Osobennosti transformatsii neftezagryazneniya v merzlotnykh pochvakh tekhnogennykh ob'ektov Yakutii* [Oil pollution transformation in cryogenic soils of technogenic entities in Yakutia]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 112–120. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-112-120

References

- [1] Abbasian F., Lockington R., Mallavarapu M., Naidu R. A comprehensive review of aliphatic hydrocarbon biodegradation by bacteria. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 2015, v. 176, pp. 670–699. <https://doi.org/10.1007/s12010-015-1603-5/>
- [2] Arhegov V.B., Nefedov Yu.V. *Strategiya neftegazopoyiskovykh rabot v otsenke toplivno-energeticheskogo potentsiala shel'fa arkticheskikh morey Rossii* [Strategy for oil and gas prospecting in assessing the fuel and energy potential of the shelf of the Arctic seas of Russia]. *Zapiski Gornogo instituta* [Journal of Mining Institute], 2015, v. 212, pp. 6–13.
- [3] Carayannis E., Ilinova A., Chanysheva A. Russian arctic offshore oil and gas projects: methodological framework for evaluating their prospects. *J. Knowl. Econ.*, 2020, v. 11, pp. 1403–1429. <https://doi.org/10.1007/s13132-019-00602-7>
- [4] Heininen L., Everett K., Padrtova B., Reissell A. *Arctic Policies and Strategies-Analysis, Synthesis, and Trends*. IIASA, Laxenburg, Austria, 2020, 263 p. <https://doi.org/10.22022/AFI/11-2019.16175>
- [5] Kapel'kina L.P. *Narushennyye zemli Severa i problemy rekul'tivatsii* [Disturbed lands of the North and the problems of reclamation]. *Arktika. Ekologiya i ekonomika* [Arctic. Ecology and economics], 2011, v. 3, pp. 60–67.
- [6] Safronov A.F. *Nekotorye problemy osvoeniya uglevodorodnykh resursov Vostochnogo Arkticheskogo sektora Rossii* [Some Problems of Development of Hydrocarbon Resources in the Eastern Arctic Sector of Russia]. *Ekonomika Vostoka Rossii* [Economy of the East of Russia], 2015, no. 02(004), pp. 21–25.
- [7] Glyaznetsova Y.S., Lifshits S.K., Zueva I.N., Chalaya O.N. Transformation of oil-contaminated soils of cryolithozone. Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, POAC : 26, Moscow, 14–18 июня 2021 года. Moscow, 2021. URL: <https://www.poac.com/Proceedings/2021/POAC21-021.pdf> (дата обращения 05.04.2022).
- [8] White D.M., Garland D.S., Woolard C.R. Analytical methods for petroleum in cold region soils. *Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons in Cold Regions*. Eds. In D.M. Fuller, I. Snape, D.L. Barnes. Cambridge University Press., 2008, pp. 212–230. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535956>
- [9] *Yakutskaya ASSR. Atlas. Atlas sel'skogo khozyaystva Yakutskoy ASSR* [Yakut ASSR. Atlas. Atlas of Agriculture of the Yakut ASSR]. Moscow: GUGK, 1989, 1 at., 115 p.
- [10] Murav'ev F.A. *Geokriologicheskie karty i razrezy* [Geocryological maps and sections]. Kazan': Kazanskiy federal'nyy universitet, 2014, 39 p.
- [11] Spektor V.B., Shestakova A.A., Torgovkin Ya.I., Spektor V.V. *Obobshchenie dannykh o kriolitozone na inzhenerno-geologicheskoy karte Respubliki Sakha (Yakutiya) masshtaba 1:1 500 000* [Generalization of data on permafrost on the engineering-geological map of the Republic of Sakha (Yakutia) at a scale of 1:1500000]. *Nauchnyy vestnik* [Scientific Bulletin], 2015, no. 2(4), pp. 59–73.
- [12] Ilarionov S.A., Markarova M.Yu., Nazarov A.V., Oborin A.A., Khmurchik V.T. *Neftezagryaznennyye biogeotsenozy (protsessy obrazovaniya, nauchnye osnovy vosstanovleniya, mediko-ekologicheskie problemy)* [Oil-contaminated biocenoses]. Perm': UrO RAN, 2008, 511 p.
- [13] Camenzuli D., Freidman B.L. On-site and in situ remediation technologies applicable to petroleum hydrocarbon contaminated sites in the Antarctic and Arctic. *Polar Research*, 2015, v. 34, 24492. pp. 1–19 <http://dx.doi.org/10.3402/polar.v34.24492>
- [14] Rike A.G., Haugen K.B., Børresen M., Engene B., Kolstad P. In situ biodegradation of petroleum hydrocarbons in frozen arctic soils. *Cold Regions Science and Technology*, 2003, v. 37, pp. 97–120.
- [15] Shen T., Youngrui P., Mutai B., Xu N., Inren L. Bioremediation of different petroleum hydrocarbons by free and immobilized microbial consortia. *Environ Sci: Processes Impacts*, 2015, v. 17, no. 12, pp. 2022–2033.
- [16] Lifshits S.Kh., Glyaznetsova Yu.S., Chalaya O.N., Zueva I.N. Increase in remediation processes of oil-contaminated soils. *Remediation J.*, 2017, v. 28, pp. 97–104.
- [17] Lifshits S., Glyaznetsova Yu., Erofeevskaya L., Chalaya O., Zueva I. Effect of oil pollution on the ecological condition of soils and bottom sediments of the arctic region (Yakutia). *Environmental Pollution*, 2021, v. 288, p. 117680. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117680>
- [18] GOST 17.4.4.02–2017 *Okhrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya khimicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza* [Nature protection. Soils. Methods for sampling and preparation of soil for chemical, bacteriological, helminthological analysis]. Moscow: Standartinform Publ., 2018, 14 p.
- [19] *Neftezagryaznenie pochvogruntov i donnykh otlozheniy na territorii Yakutii (sostav, rasprostraneniye, transformatsiya)* [Oil pollution of soils and bottom sediments in the territory of Yakutia (composition, distribution, transformation)]. Eds. Yu.S. Glyaznetsova, A.F. Safronov. Yakutsk: Akhsaan, 2010, 160 p.
- [20] *Metodika izmereniy № 222.0119/01.00258/2014. Opredeleniye gruppovogo sostava khloroformnykh bitumoidov porod, pochv i otbenzinennykh neftey gravimetricheskim metodom* [Measurement procedure No. 222.0119/01.00258/2014. Determination of the group composition of chloroform bitumoids of rocks, soils and stripped oils by the gravimetric method]. 2014. 15 p. Available at: <https://ckp-rf.ru/catalog/ckp/3053/> (accessed 05.04.2022).
- [21] *Metodika izmereniy № 222.0118/01.00258/2014. 2014. Opredeleniye sostava uglevodorodnykh fraktsiy porod, pochv i otbenzinennykh neftey metodom khromato-mass-spektrometrii* [Measurement procedure No. 222.0118/01.00258/2014. Determination of the composition of hydrocarbon fractions of rocks, soils and stripped oils by chromatography-mass spectrometry]. 2014. 10 p. Available at: <http://ipng.ysn.ru/wp-content/uploads/2020/04/hms-scaled.jpg> (accessed 25.04.2022).
- [22] Petrov A.A. *Uglevodorody nefii* [Petroleum hydrocarbons]. Moscow: Nauka, 1984, 263 p.
- [23] Jovančićević B., Antić M., Pavlović I., Vrvic M., Beškoski V., Kronimus A., Schwarzbauer J. Transformation of Petroleum Saturated Hydrocarbons during Soil Bioremediation Experiments. *Water Air Soil Pollut*, 2008, v. 190, pp. 299–307. DOI 10.1007/s11270-007-9601-z
- [24] Erofeevskaya L.A. *Monitoring biologicheskoy aktivnosti pochvennykh ekosistem v usloviyakh neftyanogo zagryazneniya* [Monitoring the biological activity of soil ecosystems under conditions of oil pollution]. *Perspektivy nauki* [Science perspectives], 2014, no. 3(54), pp. 117–120.

- [25] Baryshnikova N.V., Pavlova M.A., Cheremnaya E.V., Makarevich E.V. *Biodegradatsiya neftyanykh uglevodorodov v pochvennykh obraztsakh s vneseniem kontsentrata stochnykh vod i biopreparata «Mikrozim»* [Biodegradation of petroleum hydrocarbons in soil samples with the introduction of wastewater concentrate and the biological product «Mikrozim»]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2011, no. 8, pp. 22–23.
- [26] Aliev I.A., Ibragimov E.A. *Razvitie i kharakternye osobennosti potentsial'no patogennykh gribov zagryaznennykh pochv* [Development and Characteristic Features of Potentially Pathogenic Fungi in Contaminated Soils]. *Pochvovedenie i agrokimiya* [Soil science and agrochemistry], 2021, no. 4, pp. 33–42.
- [27] Zhou H., Jiang L., Chen C. Enhanced bioremediation of diesel oil-contaminated seawater by a biochar-immobilized biosurfactant-producing bacteria *Vibrio* sp. LQ2 isolated from cold seep sediment. *The Science of the Total Environment*, 2021, v. 793, p. 148529. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148529>
- [28] *Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons in Cold Regions* / Ed. D.M. Filler, I. Snape, D.L. Barnes. Cambridge University Press, 2008, 273 p.
- [29] Ossai I.C., Ahmed A., Hassan A. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100526>
- [30] Sui X., Wang X., Li Y., Ji H. Remediation of petroleum-contaminated soils with microbial and microbial combined methods: Advances, mechanisms and challenges. *Sustainability*, 2021, v. 13, p. 9267. <https://doi.org/10.3390/su13169267>
- [31] Chong C.W., Silvaraj S., Supramaniam Y., Snape I., Tan I.K.P. Effect of temperature on bacterial community in petroleum hydrocarbon-contaminated and uncontaminated Antarctic soil. *Polar Biol.*, 2018, v. 41, pp. 1763–1775. <https://doi.org/10.1007/s00300-018-2316-3>
- [32] Nemirovskaya I.A., Glyaznetsova Yu.S. The effect of accidental spill of diesel fuel in Noril'sk on hydrocarbon concentrations and composition in bottom sediments. *Water Resources*, 2022, v. 49, no. 6, pp. 1027–1039. <https://doi.org/10.1134/S0097807822060100>

The work was carried out within the framework of the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 122011200369-1 using the scientific equipment of the Common Use Center of the Federal Research Center of the YaNC SB RAS under grant No. 13.TsKP.21.0016.

Authors' information

Lifshits Sara Khaimovna — Cand. Sci. (Chem.), Leading Researcher, Institute of Oil and Gas Problems of Federal Research Center «Yakut Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», shlif@ipng.ysn.ru

Glyaznetsova Yuliya Stanislavovna✉ — Cand. Sci. (Chem.), Leading Researcher, Head of the Laboratory of Geochemistry of Caustobioliths, Institute of Oil and Gas Problems of Federal Research Center «Yakut Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», gchlab@ipng.ysn.ru

Chalaya Ol'ga Nikolaevna — Cand. Sci. (Geological and Mineralogical), Leading Researcher, Institute of Oil and Gas Problems of Federal Research Center «Yakut Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», oncha@ipng.ysn.ru

Zueva Iraida Nikolaevna — Cand. Sci. (Geological and Mineralogical), Leading Researcher, Institute of Oil and Gas Problems of Federal Research Center «Yakut Scientific Center of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», inzu@ipng.ysn.ru

Received 07.11.2022.

Approved after review 10.01.2023.

Accepted for publication 30.01.2023.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest