

Научная статья

УДК 504.75.06:619579

doi: 10.36871/vet.san.hyг.ecol.202201014

СКРИНИНГ УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ БИОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ

*Светлана Рашидовна Хабирова¹, Ильгиз Ильясович Идиятов²,
Эдуард Аркадьевич Шуралев³, Анна Михайловна Тремасова⁴,
Василий Иванович Дорожкин⁵*

^{1,3} Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань 420014,
Республика Татарстан, Российская Федерация

^{2,4} Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической
безопасности, Казань 420075, Республика Татарстан, Российская Федерация

⁵ ВНИИ ветеринарной санитарии, гигиены и экологии – филиал
ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН. Москва 123022,
Российская Федерация, E-mail: vniivshe@mail.ru

¹ galliamova95@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1688-9348>

² idiyatov_ilgiz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9279-4001>

³ eduard.shuralev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0650-3090>

⁴ anuta.tremasova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1706-134X>

⁵ tox.dor@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1188-4449>

Аннотация. Аварии с разливами нефти и нефтепродуктов представляют серьезную угрозу экологической безопасности и здоровью людей. До настоящего времени мероприятия по устранению последствий загрязнения в основном сводились к применению физических и химических методов, которые отличаются высокой стоимостью и множеством ограничительных факторов. Перспективным подходом к решению проблемы очистки объектов окружающей среды от нефтяных загрязнений является микробиологическая рекультивация. Целью настоящей работы было выделение из месторождений вязкой и сверхвязкой нефти аборигенной микрофлоры для формирования ассоциации, способствующей деградации тяжелой нефти. В результате скрининга углеводородокисляющих микроорганизмов из призабойных зон нефтяных скважин Башкирского яруса месторождений Республики Татарстан отобрано шесть высокоактивных изолятов. Установлено, что они принимают участие в окислении и биологической деградации тяжелой нефти с удельной плотностью 0,89...0,91 г/см³. В опыте с монокультурами трансформация нефти не превышала 34%, однако под влиянием ассоциации значение показателя достигало 52%. Под влиянием ассоциации микроорганизмов отмечено существенное снижение вязкости нефти. Полученные данные свидетельствуют о перспективах дальнейшего изучения углеводородокисляющей способности отобранных микроорганизмов и использования данной ассоциации в качестве основы биопрепаратов для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, реабилитации окружающей природной среды.

Ключевые слова: нефть, углеводородокисляющие микроорганизмы, идентификация, физиолого-биохимические свойства, нефтепродукты, деградация

Для цитирования: Хабирова С.Р., Идиятов И.И., Шуралев Э.А., Трemasова А.М., Дорожжкин В.И. Скрининг углеводородоксилирующих микроорганизмов для биоремедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами // Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии». 2022. № 1 (41). С. 117–125. doi: 10.36871/vet.san.hyge.ecol.202201014

Original article

SCREENING OF HYDROCARBON-OXIDIZING MICROORGANISMS FOR BIOREMEDIATION OF SOILS CONTAMINATED WITH OIL AND PETROLEUM PRODUCTS

**Svetlana R. Khabirova¹, Ilgiz I. Idiyatov², Eduard A. Shuraley³,
Anna M. Tremasova⁴, Vasily I. Dorozhkin⁵**

^{1,3} Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, 420014,
Republic of Tatarstan, Russian Federation

^{2,4} Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Center for
toxicological, radiation and biological safety», Kazan, 420075,
Republic of Tatarstan, Russian Federation

⁵ All-Russian Research Institute of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology –
Branch of Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific
Center – K.I. Skryabin, Ya.R. Kovalenko All-Russian Research Institute
of Experimental Veterinary Medicine, Russian Academy of Sciences».
Moscow 123022, Russian Federation. E-mail: vniivshe@mail.ru

¹ galliamova95@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1688-9348>

² idiyatov_ilgiz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9279-4001>

³ eduard.shuraley@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0650-3090>

⁴ anuta.tremasova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1706-134X>

⁵ tox.dor@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1188-4449>

Abstract. Accidents with oil and petroleum product spills pose a serious threat to environmental safety and human health. To date, measures to eliminate the effects of pollution have mainly been reduced to the use of physical and chemical methods, which are characterized by high cost and many restrictive factors. Microbiological reclamation is a promising approach to solving the problem of cleaning environmental objects from oil pollution. The purpose of this work was to isolate native microflora from the deposits of viscous and ultra-viscous oil to form an association that contributes to the degradation of heavy oil. As a result of screening of hydrocarbon-oxidizing microorganisms, 6 highly active isolates were selected from the bottomhole zones of oil wells of the Bashkir tier of deposits of the Republic of Tatarstan. It has been established that they take part in the oxidation and biological degradation of heavy oil with a specific density of 0.89-0.91 g/cm³. In the experiment with monocultures, the transformation of oil did not exceed 34%, but under the influence of the association, the value of the indicator reached 52%. Under the influence of the association of microorganisms, a significant decrease in the viscosity of oil was noted. The data obtained indicate the prospects for further study of the hydrocarbon-oxidizing ability of the selected microorganisms and the use of this association as the basis of biological products for the elimination of oil and petroleum product spills, rehabilitation of the environment.

Keywords: oil, hydrocarbon-oxidizing microorganisms, identification, physiological and biochemical properties, petroleum products, degradation

For citation: Khabirova S.R., Idiyatov I.I., Shuralev E.A., Tremasova A.M., Dorozhkin V.I. Screening of hydrocarbon-oxidizing microorganisms for bioremediation of soils contaminated with oil and petroleum products // Russian Journal «Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology. 2022. № 1 (41). P. 117–125 (In Russ.). doi: 10.36871/vet.san.hyг.ecol.202201014

Введение

Аварии с разливом нефти и нефтепродуктов представляют серьезную угрозу экологической безопасности и здоровью людей. Загрязнение почв сырой нефтью, как правило, обусловлено антропогенной деятельностью. Большинство нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий служат источниками загрязнения и засоления почв, ввиду чего ограничивается безопасное использование земельных ресурсов [10, 14]. Основными компонентами нефти являются различные ароматические углеводороды, алканы и нафтены, которые после попадания в почву сохраняются в ней длительное время [14]. Летучие компоненты нефти, такие как бензол, толуол, ксилол и фенол, распространяясь в воздухе, оказывают сильное токсическое действие на людей и животных [10, 13]. Кроме того, нефть, сохраняясь на поверхности, изменяет первоначальную структуру почвы, снижает ее проницаемость [15]. Непрерывное поступление нефти в почву приводит к накоплению в ней тяжелых металлов и неорганических солей [24] и, в то же время, загрязняет подземные воды, угрожая ресурсам питьевой воды [23].

До настоящего времени мероприятия по устранению разливов нефти в основном сводились к применению физических и химических методов, которые отличаются высокой стоимостью и множеством ограничительных факторов [20]. Микробиологическая рекультивация представляет собой перспективный подход к очистке объектов от нефтяных загрязнений. Данный метод является экологически чистым, не требующим больших энергозатрат [21].

Цель настоящей работы – выделить из месторождений вязкой и сверхвязкой нефти аборигенную микрофлору для фор-

мирования ассоциации, способствующей деградации углеводородов и реабилитации окружающей среды после аварий с разливом нефти и нефтепродуктов.

Материалы и методы

Пробы отбирали из месторождений, расположенных на территории Республики Татарстан: Ерыклинского, Шереметьевского, Мало-Титовского и Ивинского (ОАО «Татнефть»). Ерыклинское месторождение расположено в Аксубаевском районе [17], Шереметьевское находится в лесостепной зоне Южного Прикамья [16], Мало-Титовское – в Новошешминском районе [18], Ивинское находится на землях Новошешминского, Аксубаевского и Черемшанского районов [19]. Нефти всех четырех месторождений по результатам исследования относятся к тяжелым, сернистым, маловязким в отложениях девона и высоковязким в отложениях карбона [5]. Отбор проб из скважин осуществляли согласно ГОСТ 2517-2012 [4]. Перед отбором проб из резервуара нефть отстаивали более 2 ч. Пробы отбирали из сифонного крана в чистые сухие стеклянные бутылки, заполняя их не более чем на 90% вместимости.

Выделение микроорганизмов осуществляли по ранее описанным методикам [8, 22]. Исследование морфологических, физиологических и биохимических свойств выделенных бактерий проводили с помощью микробиологических методов [1, 7, 9, 12]. Продуцирование экстрацеллюлярных биосурфактантов микроорганизмами изучали методом посева бактерий на кровяной агар [11], способность изолятов к разложению углеводородов – путем высева на среду Мюнца с вязкой нефтью. Микроорганизмы культивировали на скошенном агаре в течение 48 ч при температуре 28°C. По-

лучив биологическую массу, ее смывали физиологическим раствором, затем в объеме 5 см³ вносили в среду с нефтью. Разложение нефти оценивали по динамике роста бактерий через 2 и 24 ч 1, 7 и 14 сут. Количество неокисленной нефти определяли весовым методом [2].

Имитационный опыт по биотрансформации вязкой нефти проводили по методу стендового моделирования [6]. Принимая во внимание расположение углеводородов в скважине, при планировании эксперимента необходимо было уделить внимание формированию песчаного коллектора, который был наполнен нефтью. С этой целью сосуды сначала заполняли предварительно промытым стерильным речным песком, взятым на побережье р. Волги, затем насыщали равным объемом сырой нефти по 670 г в течение 7 сут. После этого в сосуды добавляли двухсуточные культуры углеводородокисляющих микроорганизмов (УОМ) в равном объеме, концентрацией 1·10⁹ КОЕ/мл. В этой серии опытов использовали изоляты 1244–6, 5053–1 и консорциум как наиболее активные деструкторы. Для статистической обработки материала использовали программу Microsoft Excel и критерий Стьюдента.

Результаты исследований и обсуждение

Из отобранных образцов нефти было выделено 36 изолятов аборигенных микроорганизмов. По результатам ранее проведенных опытов, связанных с получением наиболее активно окисляющих вязкую нефть бактерий, в ходе анализа изучали шесть отобранных изолятов (40-3; 5121-1; 1244-4; 1244-6; 5053-1; 5053-2). Им присуща совместимость между собой, высокая окислительная способность в отношении нефти, стабильная жизнедеятельность в изменяющихся условиях среды (температура от 15 до 30°С и рН от 4,0 до 9,0).

Идентификацию микроорганизмов проводили по морфологическим, культуральным и физиолого-биохимическим признакам. Исследуемые УОМ характе-

ризовались палочковидной формой, подвижностью, однотонной пигментацией белого и молочного цвета.

Изолятам присуща высокая сахаролитическая, протеолитическая, амилолитическая и каталазная активность. Изоляты 1244-4 и 1244-6 не образуют индола и сероводорода, остальные изоляты обладают способностью расщеплять белок и пептон до продуктов глубокого распада в виде индола и сероводорода. Каждый из изолятов в той или иной мере обладает липолитической активностью. Смещение рН среды в кислую сторону особенно ярко наблюдалось у изолятов 5053-1 и 5053-2, средние значения – у изолятов 1244-4 и 1244-6, наименьшие – 40-3 и 5121-1.

Выявленные ранее свойства УОМ согласуются со способностью усваивать углеводороды, которая выражается в выработке ими поверхностно активных веществ (ПАВ), диспергирующих углеводороды и увеличивающих их биодоступность для микроорганизмов. Способность микроорганизмов образовывать ПАВ оценивали по индексу эмульгирования (таблица), наиболее высокие значения при смешивании культуральной жидкости с керосином отмечены у консорциума и изолята 40-3 – 47,20%, наименьшие – у 1244-6 и 5121-1 – соответственно 40,20 и 39,60%. Выделение в среду эмульгатора характерно для углеводородокисляющих бактерий, так как гидрофильная клеточная стенка содержит недостаточное количество липидов, поэтому гидрофобные углеводороды не способны проникнуть через нее. Специализированные же бактерии выделяют эмульгатор, тем самым снижая гидрофобность углеводородов и способствуя их сольubilизации [3].

Исследуемые УОМ обладают способностью к продуцированию экстрацеллюлярных биосурфактантов, о чем свидетельствуют зоны просветления вокруг высевных изолятов, образованные при гемолизе эритроцитов этими соединениями (рис. 1).

Данный метод был использован после изучения методики, описанной в

Таблица. Эмульгирующая активность УОМ
Table. Emulsifying activity of UOM

Номер изолята	Vз (эмульсия), мл	Vп (полный объем), мл	ИЭ, %
1 (40-3)	3,32±0,07	7,0	47,20±1,08
2 (5121-1)	2,80±0,11	7,0	39,60±1,68
3 (1244-4)	3,04±0,06	7,0	42,80±0,82
4 (1244-6)	2,84±0,06	7,0	40,20±0,74
5 (5053-1)	2,98±0,10	7,0	42,00±1,37
6 (5053-2)	2,94±0,08	7,0	41,40±1,10
Консорциум	4,20±0,08	7,0	59,60±1,04

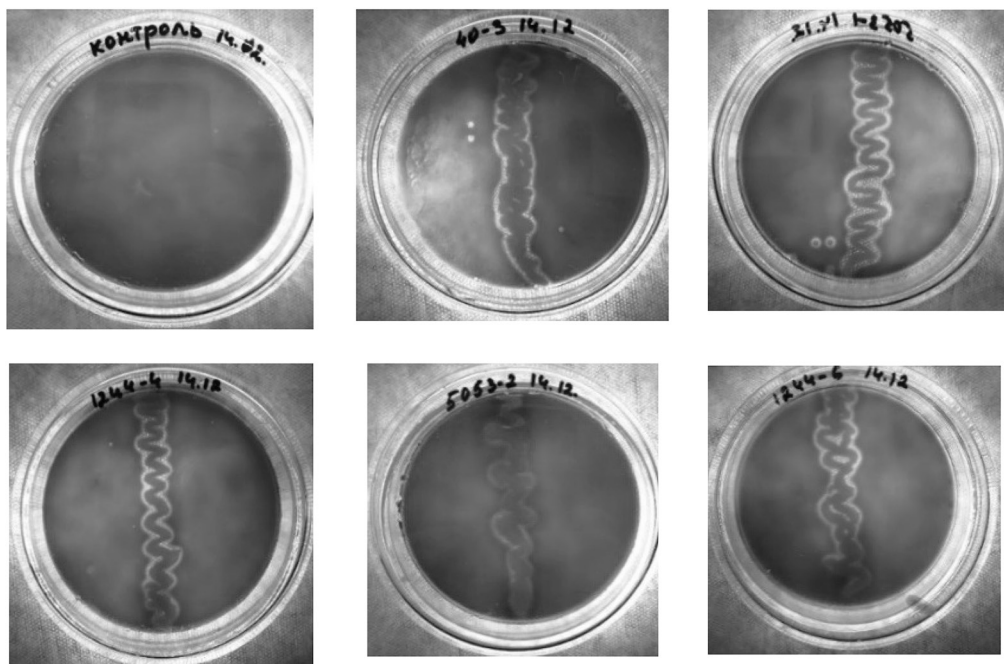


Рис. 1. Зоны гемолиза эритроцитов под воздействием экстрацеллюлярных биосурфактантов УОМ

Fig. 1. Areas of erythrocyte hemolysis under the influence of extracellular biosurfactants UOM

статье Н. Bautista [11], наглядно демонстрирующей наличие или отсутствие биосурфактантов, необходимых углеводородоокисляющим микроорганизмам в деградации тяжелой нефти. Анализ полученных данных показал, что отобранные изоляты являются высокоактивными микроорганизмами.

На следующем этапе работы была поставлена задача биотрансформации вязкой нефти. Используемая в опыте нефть характеризуется близкими удельными плотностями от 0,89 до 0,91 г/см³. Пред-

варительные опыты выявили, что не все УОМ проявляют высокую активность в биоокислении, поэтому дальнейшие эксперименты проводили с монокультурами 1244-6 и 5053-1 и консорциумом, включающим все шесть видов УОМ (рис. 2).

Эксперименты показали, что нефть является активным участником общего метаболизма монокультур и консорциума микроорганизмов, увеличение роста идет за счет возрастания продолжительности контакта со средой, достигая максимума к 7-м суткам культивирования.

Развитие консорциума во всех вариантах происходит активнее.

По количеству окисленной нефти показатели разнятся, наибольшее значение – по нефти Ивинского месторождения (52%), нефть Шереметьевского, Ерыклинского и Мало-Титовского месторождений на 14-е сутки опыта монокультуры разлагают на 20...28%, консорциум – на 27...34%.

Оценку трансформации УОМ вязкой нефти в легкотекучие углеводороды осуществляли визуально, учитывая изменения мутности среды и вязкость нефти (в начале и конце опыта). Выявлено, что при внесении культур УОМ питательная среда не изменялась на протяжении 15...20 сут, со временем на поверхности сформированного песчаного коллектора появлялись капли нефти, увеличивающиеся по объему. На 39-е сутки эксперимента капли отрывались от поверхности и накапливались в верхнем слое «жидкость – воздух», затем данный слой нарастал. В опытах с Ерыклинской нефтью этот процесс завершился на 63...65-е сутки, среда в цилиндрах из мутной становилась более прозрачной, что свидетельствовало о гибели определенной массы бактерий и замедлении процессов биологической трансформации углеводородов. В данном состоянии среда оставалась до окончания опыта (90 сут).

Анализ изменения вязкости нефти в опыте и контрольных вариантах (без микроорганизмов) свидетельствует о том, что все образцы были подвержены изменениям. С ассоциацией и Ерыклинской нефтью значения вязкости снизились в среднем из трех измерений с 600 до 337 Па·с (43,8%), с монокультурами 5053-1 и 1244-6 – с 600 соответственно до 430 и 507 Па·с (28,3 и 15,5%). Эти данные свидетельствуют об активном участии отобранных УОМ в процессе трансформации вязкой нефти в легкоподвижные формы.

В опыте с Шереметьевской нефтью, как и в предыдущем эксперименте, УОМ активно развивались первые 30...38 сут. Переход нефти всплыванием на поверх-

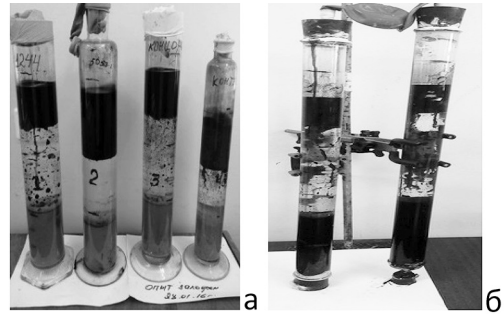


Рис. 2. Имитационный опыт с вязкой нефтью: а – Ерыклинское месторождение; б – Шереметьевское месторождение

Fig. 1. Simulation experience with viscous oil: a – Eryklinskoye field; b – Sheremetyevskoye field

ность легкой фазы начинался с 25...30-х суток и продолжался до конца опыта. Вязкость нефти в опыте с монокультурами снизилась с 400 до 365...368 Па·с (8,3%), консорциумом – с 400 до 330 Па·с (17,5%). Менее активное изменение вязкости Шереметьевской нефти обусловлено, по всей вероятности, низкими ее значениями в начале эксперимента.

Заключение

В результате скрининга углеводородокисляющих микроорганизмов из призабойных зон нефтяных скважин отобраны шесть высокоактивных изолятов. Установлено, что они принимают участие в биологической деградации тяжелой нефти с удельной плотностью 0,89...0,91 г/см³. В опыте с монокультурами трансформация нефти не превышала 34%, однако под влиянием ассоциации значение показателя достигало 52%. Под влиянием ассоциации УОМ отмечены существенное снижение вязкости и высокая эмульгирующая активность.

Полученные данные свидетельствуют о перспективах дальнейшего изучения углеводородокисляющей способности отобранных микроорганизмов и использования данной ассоциации в качестве основы биопрепаратов для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, реабилитации окружающей природной среды.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Александров А.Ю. Характеристика штаммов микроорганизмов, участвующих в биоремедиации // Вестник Волгоградского государственного университета. 2009. № 1(14). С. 231-237.
2. Булатов А.И., Макаренко П.П., Шеметов В.Ю. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности. М.: Недра, 1997. С. 144.
3. Гоголева О.А., Немцева Н.В. Угледородоокисляющие микроорганизмы природных экосистем // Бюллетень Оренбургского Научного центра УрО РАН, 2012.
4. ГОСТ 2517-2012 Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб. 2012.
5. Муслимов Р.Х. Нефтегазоносность Республики Татарстан. Геология и разработка нефтяных месторождений. Казань: Изд-во «ФЭн» Академии наук РТ. 2007. № 2. С. 524.
6. Скибицкая Н.А. и др. Стендовое моделирование жизненного цикла пластовой углеводородной системы при истощении нефтегазоконденсатного месторождения (на примере Вуктыльского НГКМ) // Экспозиция Нефть. Газ. 2019. № 3. С. 70.
7. Трemasова А.М. и др. Скрининг эффективных микроорганизмов для обезвреживания органических отходов и биodeградации ксенобиотиков // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2018. № 20. С. 342-345.
8. Хабирова (Галлямова) С.Р. и др. Оценка безопасности выделенных из природных биотопов молочнокислых бактерий путем биотестирования на простейших и культуре клеток // Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии». 2020. № 1 (33). С. 67-72.
9. Хоулт Дж. Определитель бактерий Берджи. М.: Мир, 1980. – Т. 2. 124 с.
10. Bajagari R., Park Y., Jeong S.W. Feasibility of oxidation-biodegradation serial foam spraying for total petroleum hydrocarbon removal without soil disturbance // Sci. Total Environ. 2018. 626. P. 1236-1242.
11. Bautista H. et al. Hydrocarbon oxidizing microorganisms: their isolation and study of colonization capacity for the use in rhizoremediation processes of contaminated soils // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. № 8. P. 24615-24621.
12. Cooper D.G., Goldenberg B.G. Surface-active agents from two bacillus species // Appl. Environ. Microbiol. 1987. № 53(2). P. 224-229.
13. Froger C. et al. Quantin Innovative combination of tracing methods to differentiate between legacy and contemporary PAH sources in the atmosphere-soil-river continuum in an urban catchment (Orge River, France) // Sci. Total Environ. 2019. 669. P. 448-458.
14. Fuchs G., Boll M., Heider J. Microbial degradation of aromatic compounds—from one strategy to four // Nat. Rev. Microbiol. 2011. № 9(11). P. 803-816.
15. Hong J.K. et al. Role of hemoglobin in hemoglobin-based remediation of the crude oil-contaminated soil // Sci. Total Environ. 2018. 627. P.1174-1181.
16. <https://rfgf.ru/gkm/itemview.php?id=52272&map=2>
17. <https://www.rfgf.ru/gkm/itemview.php?id=27014>
18. <https://www.rfgf.ru/gkm/itemview.php?id=32729>
19. <https://www.rfgf.ru/gkm/itemview.php?id=52271>
20. Li X. et al. Effect of Petroleum Contamination on Soil Microbial Community in Oil Storage Pit of Daqing Oilfield in China. International Conference on Bioinformatics & Biomedical Engineering, IEEE. 2011.
21. Liu Q. et al. Aerobic degradation of crude oil by microorganisms in soils from four geographic regions of China // Sci. Rep. 2017. № 7(1). P. 14856.
22. Morozov N.V., Bagaeva T.V., Bautista H. Bacterial response of oil-degrading bacteria consortia to heavy oil upon its transition to easy-flowing hydrocarbons // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2015. № 6(4). P. 2114-2124.
23. Mosmeri H. et al. Bioremediation of benzene-contaminated groundwater by calcium peroxide (CaO2) nanoparticles: continuous-flow and biodiversity studies // J. Hazard. Mater. 2019. № 371. P. 183-190.
24. Tian Y. et al. Co-pyrolysis of metal contaminated oily waste for oil recovery and heavy metal immobilization // J. Hazard. Mater. 2019. № 373. P. 1-10.

REFERENCES

1. Aleksandrov A. Yu. Kхарakteristika shtammov mikroorganizmov, uchastvuyushhikh v bioremediacii // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. 2009. № 1(14). S. 231-237.

2. Bulatov A.I., Makarenko P.P., SHemetov V.Yu. Okhrana okruzhayushhej sredy` v neftegazovoj promy`shlennosti. M.: Nedra, 1997. S. 144.
3. Gogoleva O.A., Nemczeva N.V. Uglevodorodokislyayushhie mikroorganizmy` prirodny`kx e`kositem // Byulleten` Orenburgskogo Nauchnogo centra UrO RAN, 2012.
4. GOST 2517-2012 Neft` i nefteprodukty`. Metody` otbora prob. 2012.
5. Muslimov R.Kx. Neftegazonosnost` Respubliki Tatarstan. Geologiya i razrabotka neftyany`kx mestorozhdenij. Kazan`: Izd-vo «Fe`n» Akademii nauk RT. 2007. № 2. S. 524.
6. Skibiczka N.A. i dr. Stendovoe modelirovanie zhiznennogo czikla plastovoj uglevodorodnoj sistemy` pri istoshhenii neftegazokondensatnogo mestorozhdeniya (na primere Vuktyl'skogo NGKM) // E`kspozicziya Neft`. Gaz. 2019. № 3. S. 70.
7. Tremasova A.M. i dr. Skringing e`ffektivny`kx mikroorganizmov dlya obezvrezhivaniya organicheskikh otkhodov i biodegradaczii ksenobiotikov // Aktual`ny`e voprosy` sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produkczii sel'skogo kxozyajstva. 2018. № 20. S. 342-345.
8. Kxabirova (Gallyamova) S.R. i dr. Oczenka bezopasnosti vy`delenny`kx iz prirodny`kx biotopov molohnokisly`kx bakterij putem biotestirovaniya na prostejshix i kul`ture kletok // Rossijskij zhurnal «Problemy` veterinarnoj sanitarii, gigeny` i e`kologii». 2020. № 1 (33). S. 67-72.
9. Kxoul Dzh. Opredelitel` bakterij Berdzhii. M.: Mir, 1980. – T. 2. 124 s.
10. Bajagain R., Park Y., Jeong S.W. Feasibility of oxidation-biodegradation serial foam spraying for total petroleum hydrocarbon removal without soil disturbance // Sci. Total Environ. 2018. 626. P. 1236-1242.
11. Bautista H. et.al. Hydrocarbon oxidizing microorganisms: their isolation and study of colonization capacity for the use in rhizoremediation processes of contaminated soils // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. № 8. P. 24615-24621.
12. Cooper D.G., Goldenberg B.G. Surface-active agents from two bacillus species // Appl. Environ. Microbiol. 1987. № 53(2). P. 224-229.
13. Froger C. et.al. Quantin Innovative combination of tracing methods to differentiate between legacy and contemporary PAH sources in the atmosphere-soil-river continuum in an urban catchment (Orge River, France) // Sci. Total Environ. 2019. 669. P. 448-458.
14. Fuchs G., Boll M., Heider J. Microbial degradation of aromatic compounds—from one strategy to four // Nat. Rev. Microbiol. 2011. № 9(11). P. 803-816.
15. Hong J.K. et.al. Role of hemoglobin in hemoglobin-based remediation of the crude oil-contaminated soil // Sci. Total Environ. 2018. 627. P.1174-1181.
16. <https://rfgf.ru/gkm/itemview.php?id=52272&map=2>
17. <https://www.rfgf.ru/gkm/itemview.php?id=27014>
18. <https://www.rfgf.ru/gkm/itemview.php?id=32729>
19. <https://www.rfgf.ru/gkm/itemview.php?id=52271>
20. Li X. et.al. Effect of Petroleum Contamination on Soil Microbial Community in Oil Storage Pit of Daqing Oilfield in China. International Conference on Bioinformatics & Biomedical Engineering, IEEE. 2011.
21. Liu Q. et.al. Aerobic degradation of crude oil by microorganisms in soils from four geographic regions of China // Sci. Rep. 2017. № 7(1). P. 14856.
22. Morozov N.V., Bagaeva T.V., Bautista H. Bacterial response of oil-degrading bacteria consortia to heavy oil upon its transition to easy-flowing hydrocarbons // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2015. № 6(4). P. 2114-2124.
23. Mosmeri H. et.al. Bioremediation of benzene-contaminated groundwater by calcium peroxide (CaO₂) nanoparticles: continuous-flow and biodiversity studies // J. Hazard. Mater. 2019. № 371. P. 183-190.
24. Tian Y. et.al. Co-pyrolysis of metal contaminated oily waste for oil recovery and heavy metal immobilization // J. Hazard. Mater. 2019. № 373. P. 1-10.

Информация об авторах

Хабирова С.Р. – аспирантка.

Идиятов И.И. – канд. биол. наук, старший научный сотрудник.

Шуралев Э.А. – канд. вет. наук, доцент.

Тремасова А.М. – д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник.

Дорожкин В.И. – д-р биол. наук, проф., академик РАН, руководитель института.

Information about the authors

Khabirova S.R. – postgraduate student.

Idiyatov I.I. – Cand. Biol. Sci., senior researcher.

Shuralev E.A. – Cand. Vet. Sci., Associate Professor.

Tremasova A.M. – Dr. Biol. Sci., leading researcher.

Dorozhkin V.I. – Dr. Biol. Sci., Prof., Acad. of the Russ. Acad. of Sciences, Head of the Institute.

Вклад авторов

Хабирова С.Р. – проведение экспериментов, написание статьи.

Идиятов И.И. – проведение экспериментов, введение.

Шуралев Э.А. – разработка дизайна исследований.

Тремасова А.М. – анализ полученных данных, заключение.

Дорожкин В.И. – редактирование рукописи, заключение.

Contribution of the authors

Khabirova S.R. – conducting experiments, writing an article.

Idiyatov I.I. – conducting experiments, introduction.

Shuralev E.A. – developing research design.

Tremasova A.M. – analyzing the data obtained, conclusion.

Dorozhkin V.I. – editing the manuscript, conclusion.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 08.10.2021; одобрена после рецензирования 01.12.2021.

Дата опубликования: 25.04.2022.

The article was submitted 08.10.2021; approved after reviewing 01.12.2021. Date of publication 25.04.2022.