

10. Зенкевич Л. А. Биология морей СССР. М. : Изд-во АН СССР, 1963. 739 с.
11. Усачев П. И. Количественная методика сбора и обработки фитопланктона // Тр. ВГБО АН СССР. 1961. Т. 11. С. 411–415.
12. Еленкин А. А. Синезеленые водоросли СССР: Монография пресноводных и наземных Cyanophyceae, обнаруженных в пределах СССР. Вып. 2. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1949. С. 985–1908.
13. Киселев И. А. Панцирные жгутиконосцы морей и пресных вод СССР. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1950. 280 с.
14. Прошкина-Лавренко А. И., Макарова И. В. Водоросли планктона Каспийского моря. М. : Hayka, 1968. 291 с.
15. Розенберг Г. С. Поль Жаккар и сходство экологических объектов // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2012. № 1. С. 190–202.
16. Ардабьева А. Г., Зимина Т. Н. Развитие и роль синезеленых водорослей в фитопланктоне Северного Каспия // Астраханский вестник экологического образования. 2023. № 5 (77). С. 183–186. <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2023-5-183-186>, EDN: OLFWCV
7. Voloshko L. N. Dynamics of phytoplankton of the lower Volga and the main branches of its delta. *Hydrobiological Journal*, 1972, vol. 8, no. 3, pp. 28–33 (in Russian).
8. Ardabyeva A. G. Development of phytoplankton of the Northern Caspian at the beginning of the 21st century. Omelchuk Yu. A., Lyamina N. V., Kucherik G. V., eds. *Ecological, Industrial and Energy Security – 2017: Collection of articles based on the materials of the scientific and practical conference with international participation (Sevastopol, September 11–15, 2017)*. Sevastopol, Sevastopol State University Publ., 2017, pp. 102–106 (in Russian). EDN: YNKLHH
9. Tatarintseva T. A., Terletskaya O. V., Ardabyeva A. G. Phytoplankton of the Middle and Southern Caspian. *Rybokhozyastvennyye issledovaniya na Kaspii: Rezul'taty NIR za 2003 g.* [Fisheries research in the Caspian Sea: Results of Research Work for 2003]. Astrakhan, KaspNIRKh Publ., 2004, pp. 123–130 (in Russian).
10. Zenkevich L. A. *Biologiya morey SSSR* [Biology of the seas of the USSR]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1963. 739 p. (in Russian).
11. Usachev P. I. Quantitative methods for collecting and processing phytoplankton. *Proceedings of the VGBO of the USSR Academy of Sciences*, 1961, vol. 11, pp. 411–415 (in Russian).
12. Elenkin A. A. *Sinezelenye vodorosli SSSR: Monografiya presnovodnykh i nazemnykh Cyanophyceae, obnaruzhennykh v predelakh SSSR. Vyp. 2* [Blue-green algae of the USSR: Monograph of freshwater and terrestrial Cyanophyceae found within the USSR, iss. 2]. Moscow, Leningrad, USSR Academy of Sciences Publ., 1949, pp. 985–1908 (in Russian).
13. Kiselev I. A. *Pantsirnye zhgutikonostsy morej i presnykh vod USSR* [Armored flagellates of the seas and fresh waters of the USSR]. Moscow, USSR Academy of Sciences Publ., 1950. 280 p. (in Russian).
14. Proshkina-Lavrenko A. I., Makarova I. V. *Vodorosli planktona Kaspiyskogo morya* [Algae of plankton of the Caspian Sea]. Moscow, Nauka, 1968. 291 p. (in Russian).
15. Rosenberg G. S. Paul Jacquard and the similarity of ecological objects. *Samara Luka: Problems of Regional and Global Ecology*, 2012, no. 1, pp. 190–202 (in Russian).
16. Ardabyeva A. G., Zimina T. N. Development and role of blue-green algae in the phytoplankton of the Northern Caspian. *Astrakhan Bulletin of Environmental Education*, 2023, no. 5 (77), pp. 183–186 (in Russian). <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2023-5-183-186>, EDN: OLFWCV

References

1. Usachev P. I. New and rare species of blue-green algae in the plankton of the Caspian Sea. In: *Materialy po gidrobiologii i litologii Kaspiyskogo morya* [Materials on hydrobiology and lithology Caspian Sea]. Moscow, Leningrad, USSR Academy of Sciences Publ., 1938, pp. 99–115 (in Russian).
2. Alfimov N. N., Makarova I. V., Fadeyeva O. N. Materials for the ecological and chemical characteristics of some species of blue-green algae. *Botanicheskii Zhurnal*, 1968, vol. 53, no. 1, pp. 106–108 (in Russian).
3. Vasilyeva-Kralina I. I. *Algologiya: uchebnoe posobie. Ch. 1* [Algology: Textbook. Part 1]. Yakutsk, Yakutsk University Publ., 1999. 101 p. (in Russian).
4. Efimova M. V., Efimov A. A. Blue-green algae or cyanobacteria? Issues of systematics. *Modern Problems of Science and Education*, 2007, no. 6, part 1 (in Russian). Available at: <https://science-edication.ru/ru/article/view?id=710> (accessed April 10, 2024).
5. Voloshko L. N. Phytoplankton of the Volga River and some main branches of its delta. *Hydrobiological Journal*, 1969, vol. 5, no. 2, pp. 32–39 (in Russian).
6. Egorov S. N., Ivlieva L. M., Mironenko O. E. State of plankton communities of the main channel of the Volga River (from Volgograd to Zamyany village) in the
- spring-summer period of 2005. In: *Rybokhozyastvennyye issledovaniya na Kaspii* [Fishery research in the Caspian Sea]. Astrakhan, KaspNIRKh Publ., 2006, pp. 39–44 (in Russian).
7. Voloshko L. N. Dynamics of phytoplankton of the lower Volga and the main branches of its delta. *Hydrobiological Journal*, 1972, vol. 8, no. 3, pp. 28–33 (in Russian).
8. Ardabyeva A. G. Development of phytoplankton of the Northern Caspian at the beginning of the 21st century. Omelchuk Yu. A., Lyamina N. V., Kucherik G. V., eds. *Ecological, Industrial and Energy Security – 2017: Collection of articles based on the materials of the scientific and practical conference with international participation (Sevastopol, September 11–15, 2017)*. Sevastopol, Sevastopol State University Publ., 2017, pp. 102–106 (in Russian). EDN: YNKLHH
9. Tatarintseva T. A., Terletskaya O. V., Ardabyeva A. G. Phytoplankton of the Middle and Southern Caspian. *Rybokhozyastvennyye issledovaniya na Kaspii: Rezul'taty NIR za 2003 g.* [Fisheries research in the Caspian Sea: Results of Research Work for 2003]. Astrakhan, KaspNIRKh Publ., 2004, pp. 123–130 (in Russian).
10. Zenkevich L. A. *Biologiya morey SSSR* [Biology of the seas of the USSR]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1963. 739 p. (in Russian).
11. Usachev P. I. Quantitative methods for collecting and processing phytoplankton. *Proceedings of the VGBO of the USSR Academy of Sciences*, 1961, vol. 11, pp. 411–415 (in Russian).
12. Elenkin A. A. *Sinezelenye vodorosli SSSR: Monografiya presnovodnykh i nazemnykh Cyanophyceae, obnaruzhennykh v predelakh SSSR. Vyp. 2* [Blue-green algae of the USSR: Monograph of freshwater and terrestrial Cyanophyceae found within the USSR, iss. 2]. Moscow, Leningrad, USSR Academy of Sciences Publ., 1949, pp. 985–1908 (in Russian).
13. Kiselev I. A. *Pantsirnye zhgutikonostsy morej i presnykh vod USSR* [Armored flagellates of the seas and fresh waters of the USSR]. Moscow, USSR Academy of Sciences Publ., 1950. 280 p. (in Russian).
14. Proshkina-Lavrenko A. I., Makarova I. V. *Vodorosli planktona Kaspiyskogo morya* [Algae of plankton of the Caspian Sea]. Moscow, Nauka, 1968. 291 p. (in Russian).
15. Rosenberg G. S. Paul Jacquard and the similarity of ecological objects. *Samara Luka: Problems of Regional and Global Ecology*, 2012, no. 1, pp. 190–202 (in Russian).
16. Ardabyeva A. G., Zimina T. N. Development and role of blue-green algae in the phytoplankton of the Northern Caspian. *Astrakhan Bulletin of Environmental Education*, 2023, no. 5 (77), pp. 183–186 (in Russian). <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2023-5-183-186>, EDN: OLFWCV

Поступила в редакцию 14.10.2024; одобрена после рецензирования 01.12.2024; принята к публикации 04.12.2024; опубликована 31.03.2025

The article was submitted 14.10.2024; approved after reviewing 01.12.2024; accepted for publication 04.12.2024; published 31.03.2025



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 1. С. 118–123

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2025, vol. 25, iss. 1, pp. 118–123

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-1-118-123>, EDN: YTPZRA

Научная статья

УДК 574.5:579.64(470)

Субстратный спектр аборигенных углеводородокисляющих бактерий, выделенных из почв с различным уровнем антропогенного воздействия



Д. М. Голубев¹✉, Д. Д. Нестеркина¹, А. К. Тарасюк¹, О. С. Глинская¹,
Е. В. Плешакова¹, Е. В. Глинская^{1,2}, О. В. Нечаева³

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

²Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., Россия, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77

³Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В. И. Кулакова, 117997, г. Москва, ул. Академика Опарина, д. 4

Голубев Дмитрий Михайлович, студент, инженер кафедры микробиологии и физиологии растений, dimagolubev2018@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9471-6066>

Нестеркина Дарья Дмитриевна, студент кафедры микробиологии и физиологии растений, nesterkina.darya@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5953-3647>

Тарасюк Анна Константиновна, студент, инженер кафедры микробиологии и физиологии растений, kotannat@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-6664-3218>

Глинская Ольга Сергеевна, студент, glinskayolya@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-5531-2937>

Плешакова Екатерина Владимировна, доктор биологических наук, профессор кафедры биохимии и биофизики, plekat@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3836-0258>

Глинская Елена Владимировна, кандидат биологических наук, ¹доцент кафедры микробиологии и физиологии растений, ²доцент кафедры экологии и техносферной безопасности, elenavg-2007@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1675-5438>

Нечаева Ольга Викторовна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной микробиологии, olgav.nechaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3331-1051>

Аннотация. Исследован субстратный спектр углеводородокисляющих бактерий, выделенных из почв Саратовской области: почв г. Балаково (хроническое антропогенное загрязнение) и почв сельскохозяйственного назначения с. Новокривовка (однократное углеводородное загрязнение). Установлено, что микроорганизмы, выделенные из урбопочв г. Балаково, находящихся в условиях постоянного антропогенного воздействия, обладали более широким субстратным спектром. Выявлено, что наибольшее количество углеводородных субстратов, включая сырую нефть и индивидуальные углеводороды, были способны разлагать 4 микроорганизма, выделенные из урбопочв г. Балаково: *Acinetobacter lwoffii* R44, *Bacillus circulans* E75, *B. horikoshii* P22, *Ochrobactrum gallinifaecis* I59 и один – *Paenibacillus polymyxa* S31, выделенный из почвы с. Новокривовка. 100 % штаммов бактерий, выделенных из почв с. Новокривовка, использовали сырую нефть в качестве единственного источника углерода и 75% микроорганизмов, выделенных из почв г. Балаково. Число бактерий, способных использовать для роста ароматические углеводороды, было в 2–3 раза выше среди изолятов почв г. Балаково. Аборигенные углеводородокисляющие бактерии с широким субстратным спектром могут быть использованы для конструирования биопрепарата, направленного на проведение восстановительных мероприятий контаминированных почвенных экосистем.

Ключевые слова: почвы, техногенное загрязнение, углеводородокисляющие бактерии, субстратный спектр

Для цитирования: Голубев Д. М., Нестеркина Д. Д., Тарасюк А. К., Глинская О. С., Плешакова Е. В., Глинская Е. В., Нечаева О. В. Субстратный спектр аборигенных углеводородокисляющих бактерий, выделенных из почв с различным уровнем антропогенного воздействия // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2025. Т. 25, вып. 1. С. 118–123. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-1-118-123>, EDN: YTPZRA

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

The substrate spectrum of native hydrocarbon-oxidizing bacteria isolated from soils with different levels of anthropogenic impact

Д. М. Голубев¹✉, Д. Д. Нестеркина¹, А. К. Тарасюк¹, О. С. Глинская¹, Е. В. Плешакова¹, Е. В. Глинская^{1,2}, О. В. Нечаева³

¹Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

²Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77 Politekhnicheskaya St., Saratov 410054, Russia

³National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V. I. Kulakov, 4 Akademika Oparina St., Moscow 117997, Russia



Dmitry M. Golubev, dimagolubev2018@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9471-6066>

Darya D. Nesterkina, nesterkina.darya@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5953-3647>

Anna K. Tarasyuk, kotannat@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-6664-3218>

Olga S. Glinskaya, glinskayolya@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-5531-2937>

Yekaterina V. Pleshakova, plekat@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3836-0258>

Elena V. Glinskaya, elenavg-2007@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1675-5438>

Olga V. Nechaeva, olgav.nechaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3331-1051>

Abstract. The substrate spectrum of hydrocarbon-oxidizing bacteria isolated from the soils of the Saratov region was studied: the soils of Balakovo (chronic anthropogenic pollution) and agricultural soils of Novokrivovka village (single hydrocarbon pollution). It was found that the microorganisms isolated from the urban soils of Balakovo, being under constant anthropogenic influence, had a wider substrate spectrum. It was revealed that 4 microorganisms isolated from the urban soils of Balakovo: *Acinetobacter lwoffii* R44, *Bacillus circulans* E75, *B. horikoshii* P22, *Ochrobactrum gallinfaecis* I59, and also *Paenibacillus polymyxa* S31, isolated from the soil of Novokrivovka village, were capable of decomposing the largest amount of hydrocarbon substrates, including crude oil and individual hydrocarbons. 100% of bacterial strains isolated from the soils of Novokrivovka village and 75% of microorganisms isolated from the soils of Balakovo used crude oil as the only carbon source. The number of bacteria capable of using aromatic hydrocarbons for growth was 2–3 times higher among isolates from the soils of Balakovo. Native hydrocarbon-oxidizing bacteria with a wide substrate spectrum can be used to design a biological product aimed at carrying out restoration activities of contaminated soil ecosystems.

Keywords: soils, man-made pollution, hydrocarbon-oxidizing bacteria, substrate spectrum

For citation: Golubev D. M., Nesterkina D. D., Tarasyuk A. K., Glinskaya O. S. Pleshakova E. V., Glinskaya E. V., Nechaeva O. V. The substrate spectrum of native hydrocarbon-oxidizing bacteria isolated from soils with different levels of anthropogenic impact. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2025, vol. 25, iss. 1, pp. 118–123 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2025-25-1-118-123>, EDN: YTPZRA

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Загрязнение окружающей среды представляет собой одно из основных последствий технического прогресса. Строительство и эксплуатация нефтеперерабатывающих скважин, а также транспортировка и переработка углеводородного сырья напрямую связаны с разливами нефти и нефтепродуктов. В связи с малой растворимостью, неполярностью и гидрофобностью компонентов нефти возникают затруднения при использовании физических методов очистки территорий [1]. Технологии химической рекультивации, несмотря на очистительную эффективность, могут оказывать вторичное загрязняющее воздействие на почву, нарушая ее структуру и состав применяемыми реагентами [2].

Наиболее эффективным способом для устранения углеводородных загрязнений почв является биоремедиация – восстановление территории с использованием живых организмов для уменьшения неблагоприятного воздействия поллютантов [3]. При разработке метода по проведению очистительных мероприятий нефтезагрязненных почв необходимо учитывать эффективность используемых штаммов углеводородокисляющих бактерий, в частности, разнообразие подвергаемых деградации субстратов.

Цель исследования – сравнительное изучение субстратного спектра аборигенных почвен-

ных бактерий, выделенных из почв Саратовской области с различным уровнем и характером антропогенного воздействия.

Материалы и методы

Работа проводилась на базе кафедры микробиологии и физиологии растений Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского.

Объектом исследования являлись углеводородокисляющие микроорганизмы, выделенные из следующих почв Саратовской области: 1) почв земельных участков сельскохозяйственного назначения на северо-западе от с. Новокривовка (Советский район) (Н), территория которых была загрязнена водонефтяной эмульсией в результате утечки из нефтепровода «НСП-22 Головные сооружения» компании ОАО «Саратовнефтегаз». Среднее содержание нефтепродуктов в почвах составляло 3129 ± 64 мг/кг; 2) городских почв г. Балаково (Балаковский район), промышленного центра Саратовской области (Б). Среднее содержание нефтепродуктов в почвах составляло 615 ± 12 мг/кг.

Идентификацию изолятов проводили по определителю бактерий Берджи путем анализа фенотипических признаков [4], а также с использованием метода MALDI-ToF масс-спектрометрии на приборе MALDI масс-

спектрометре серии microflex (Bruker Daltonics GmbH, Германия). В качестве матрицы использовали α -циано-4-гидроксикоричную кислоту (Bruker Daltonics GmbH, Германия). При идентификации применяли стандартную библиотеку спектров Biotyper компании Bruker Daltonics GmbH.

Для изучения субстратного спектра углеводородокисляющих бактерий использовали следующие субстраты: предельные углеводороды – гексан, гептан, декан, ароматические углеводороды – толуол, фенол, а также сырую нефть Соколовогорского нефтяного месторождения (Волго-Уральский нефтяной бассейн, Саратов, Россия). Способность бактерий к деструкции исследуемых субстратов определяли с помощью метода лунок. Субстрат вносили в лунку диаметром 8 мм в центре агаризованной минеральной среды M9 в чашке Петри. Во-

круг лунки с субстратом осуществляли посев культур штрихом. Культивирование бактерий проводили одновременно и на поверхности твердого субстрата, и в парах углеводородов, за счет их равномерной диффузии и частичного испарения. Учет результатов осуществляли в течение 7 дней инкубации в термостате при 28° С. О деструкции углеводородов судили по интенсивности роста тест-культур [5].

Результаты и их обсуждение

По результатам экспериментов выявлено, что микроорганизмы *Acinetobacter lwoffii* R44 (Б), *Bacillus circulans* E75 (Б), *B. horikoshii* P22 (Б), *Ochrobactrum gallinifaecis* I59 (Б), *Paenibacillus polymyxa* S31 (Н) были способны разлагать все используемые углеводородные субстраты (рис. 1).

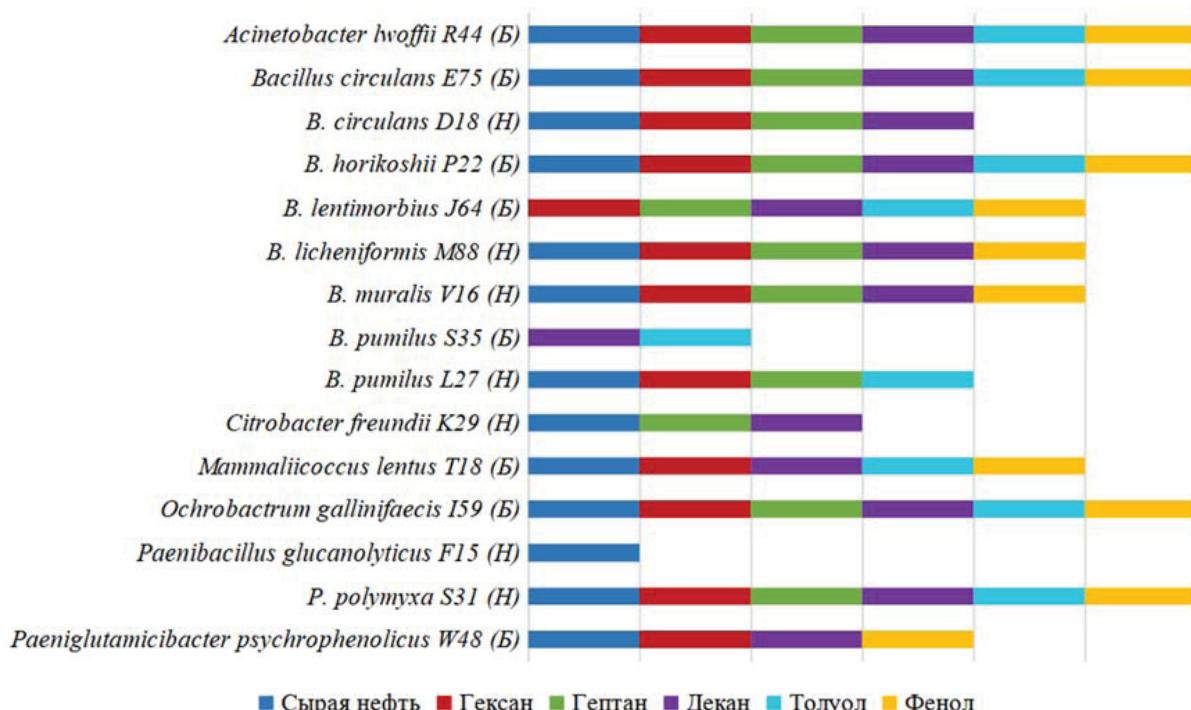


Рис. 1. Спектр углеводородов, разлагаемых углеводородокисляющими микроорганизмами, штаммы: Б – из почв г. Балаково; Н – из почв с. Новокривовка (цвет онлайн)

Fig. 1. The spectrum of oxidized hydrocarbons by hydrocarbon-oxidizing microorganisms, strains: Б – from the city of Balakovo; Н – from the village of Novokrивовка (color online)

Штаммы бактерий были изолированы из почв г. Балаково, в черте и пригородах которого расположены крупные предприятия энергетической, химической, металлургической отрасли, а также других профилей (транспортной, строительной, пищевой, легкой и пр.). Один из микроорганизмов с широким субстратным

спектром – *Paenibacillus polymyxa* S31 (Н) – был выделен из почвы с. Новокривовка, загрязненной водонефтяной эмульсией вследствие прорыва нефтепровода.

Изоляты почв г. Балаково, как правило, обладали более широким субстратным спектром (рис. 2).

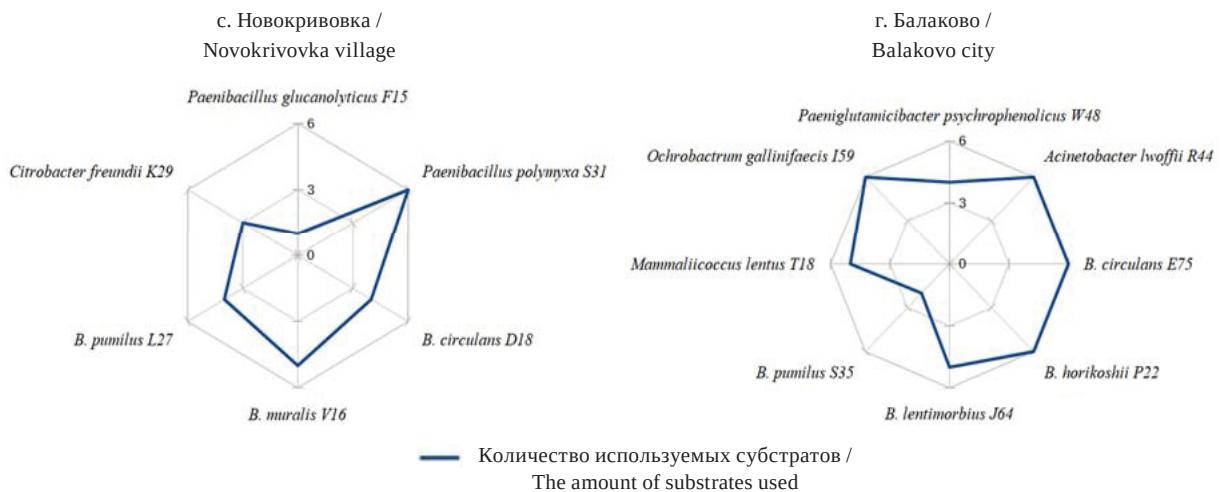


Рис. 2. Количество углеводородных субстратов для роста бактерий, выделенных из почв с однократным (с. Новокривовка) и хроническим (г. Балаково) загрязнением

Fig. 2. The amount of hydrocarbon substrates for growth of bacteria isolated from soils with single (Novokrivovka village) and chronic (Balakovo city) contamination

75% бактерий, выделенных из урбопочв г. Балаково, были способны к деструкции пяти и более углеводородных источников, лишь *B. pumilus* S35 использовал менее трех. Микроорганизмы, изолированные из почв с. Новокривовка, разлагали меньшее количество углеводородов: лишь 33 % были способны использовать пять и более субстратов, а *Paenibacillus glucanolyticus* F15 – только сырую нефть.

Было выяснено, что 75% почвенных изолятов г. Балаково были способны к окислению

сырой нефти (таблица). 62,5% бактерий могли усваивать нециклические углеводороды, 75% – проявляли ферментативную активность по отношению к циклическим углеводородам. Все микроорганизмы, выделенные из почв с. Новокривовка, были способны к использованию сырой нефти в качестве единственного источника углерода; 57% штаммов бактерий могли превращать нециклические углеводороды, 14,3% изолятов проявляли окислительные свойства по отношению к циклическим углеводородам.

Количество штаммов углеводородокисляющих бактерий, способных к окислению углеводородов, %
Table. Number of strains of hydrocarbon-oxidizing bacteria capable of oxidizing hydrocarbons, %

| Место выделения штаммов / The place of strain isolation | Углеводородный субстрат / Hydrocarbon substrate | | | | | |
|--|---|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|----------------------------|
| | Гексан / Hexane | Гептан / Heptane | Декан / Decane | Толуол / Toluene | Фенол / Phenol | Сырая нефть / Crude oil |
| г. Балаково / Balakovo city | 75 | 62,5 | 100 | 87,5 | 87,5 | 75 |
| с. Новокривовка / Novokrivovka village | 71,5 | 85,7 | 71,5 | 28,6 | 42,9 | 100 |

Полученные результаты свидетельствуют о большей приспособленности к деградации углеводородов бактерий урбопочв г. Балаково, что связано с их высокой адаптацией к условиям хронического загрязнения промышленного города. Штаммы с. Новокривовка были выделены из природных почв, не подвергавшихся

систематическому воздействию поллютантов, из-за чего они оказались менее восприимчивы к углеводородным субстратам.

В нашем исследовании бактерии рода *Bacillus* оказались способны к деградации широкого спектра изученных субстратов. Проведившиеся А. Das с соавторами геномные иссле-

дования показали, что многие виды этого рода обладают генами, кодирующими ферменты, которые участвуют в расщеплении углеводородов, а также синтезируют поверхностно-активные вещества, способствующие этому процессу [6]. В исследованиях Т. Ю. Коршуновой с соавторами была отмечена способность рода *Ochrobactrum* к утилизации разнообразных органических веществ, этому соответствуют и полученные нами данные о способности к деградации различных углеводородных субстратов микроорганизмом *Ochrobactrum gallinifae* I59, выделенным из урбопочв г. Балаково [7]. Бактериальный штамм *Acinetobacter lwoffii* R44, выделенный из почв г. Балаково, подтверждает высокую способность к биоремедиации, демонстрирующуюся в исследованиях других авторов [8].

Единственный почвенный изолят с. Новокривовка, способный к разложению всех исследуемых субстратов, относится к роду *Paenibacillus*. Известно, что представители этого рода являются перспективными биоремедиантами: они могут разлагать сырую нефть, дизельное топливо, битум, дисульфидные масла, а также полициклические ароматические углеводороды, нафталин, фенантрен и пирен [9].

Заключение

Рекультивация загрязненных углеводородами почв направлена на снижение рисков для окружающей среды на объекте и за его пределами, а микробные сообщества способствуют облегчению ремедиации. Полученные данные будут полезны при разработке комплексного подхода для проведения восстановительных мероприятий антропогенно нарушенных почв, в том числе в Саратовской области. Микроорганизмы, способные разлагать наибольшее количество субстратов, являются перспективными агентами для биоремедиации.

Список литературы

- Созина И. Д., Данилов А. С. Микробиологическая ремедиация нефтезагрязненных почв // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 297–312. <http://dx.doi.org/10.31897/PMI.2023.8>
- Lv Y., Bao J., Zhu L. A comprehensive review of recent and perspective technologies and challenges for the remediation of oil-contaminated sites // Energy Reports. 2022. Vol. 8. P. 7976–7988. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.06.034>
- Menshakova M. Y., Moskvin K. K., Khodjaliev S. A. Study of the dynamics of oil destruction with the use of bacterial biological preparations in the conditions of the far North // BIO Web of Conferences. 2023. Vol. 63. P. 05011. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236305011>
- Определитель бактерий Берджи : в 2 т. Т. 2 / под ред. Дж. Хоулт. М. : Мир, 1997. 368 с.
- Руководство к практическим занятиям по микробиологии : практик. пособие / под ред. Н. С. Егорова. 2-е изд. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1983. 251 с.
- Das A., Das N., Rajkumari J., Pandey P., Pandey P. Exploring the bioremediation potential of *Bacillus* spp. for sustainable mitigation of hydrocarbon contaminants // Environmental Sustainability. 2024. P. 1–22. <https://doi.org/10.1007/s42398-024-00309-9>
- Коршунова Т. Ю., Мухаматдьярова С. Р., Логинов О. Н. Новый штамм бактерии рода *Ochrobactrum*: свойства и филогенетическое положение // Известия Уфимского научного центра РАН. 2013. № 2. С. 90–94.
- Al-Hadithi H. T., Al-Razzaq E. A., Fadhil G. F. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons by *Acinetobacter* species isolated from ecological sources // Journal of Environmental Biology. 2017. Vol. 38, № 5. P. 785. <http://doi.org/10.22438/jeb/38/5/MRN-422>
- Grady E. N., MacDonald J., Liu L., Richman A., Yuan Z.-H. Current knowledge and perspectives of *Paenibacillus*: A review // Microbial Cell Factories. 2016. Vol. 15. P. 1–18. <https://doi.org/10.1186/s12934-016-0603-7>

References

- Sozina I. D., Danilov A. S. Microbiological remediation of oil-contaminated soils. *Journal of Mining Institute*, 2023, vol. 260, pp. 297–312 (in Russian). <http://dx.doi.org/10.31897/PMI.2023.8>
- Lv Y., Bao J., Zhu L. A comprehensive review of recent and perspective technologies and challenges for the remediation of oil-contaminated sites. *Energy Reports*, 2022, vol. 8, pp. 7976–7988. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.06.034>
- Menshakova M. Y., Moskvin K. K., Khodjaliev S. A. Study of the dynamics of oil destruction with the use of bacterial biological preparations in the conditions of the Far North. *BIO Web of Conferences*, 2023, vol. 63, P. 05011. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236305011>
- Определитель бактерий Берджи : в 2 т. Т. 2. Под ред. Дж. Хоулт [Hoult J., ed. The determinant of Bergey bacteria: in 2 vols. Vol. 2]. Moscow, Mir, 1997. 368 p. (in Russian).

5. *Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po mikrobiologii: prakt. posobiye. Pod red. N. S. Egorova. 2-e izd.* [Egorov N. S., ed. A guide to practical classes in microbiology. 2nd ed.], Moscow, Moscow University Press, 1983. 251 p. (in Russian).
6. Das A., Das N., Rajkumari J., Pandey P., Pandey P. Exploring the bioremediation potential of *Bacillus* spp. for sustainable mitigation of hydrocarbon contaminants. *Environmental Sustainability*, 2024, pp. 1–22. <https://doi.org/10.1007/s42398-024-00309-9>
7. Korshunova T. Yu., Mukhamatdyarova S. R., Loginov O. N. New strain of the bacterium of the genus *Ochrobactrum*: Properties and phylogenetic situation. *Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre*, 2013, no. 2, pp. 90–94 (in Russian).
8. Al-Hadithi H. T., Al-Razzaq E. A., Fadhil G. F. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons by *Acinetobacter* species isolated from ecological sources. *Journal of Environmental Biology*, 2017, vol. 38, no. 5, pp. 785. <http://doi.org/10.22438/jeb/38/5/MRN-422>
9. Grady E. N., Grady, E. N., MacDonald J., Liu L., Richman A., Yuan Z.-H. Current knowledge and perspectives of *Paenibacillus*: A review. *Microbial Cell Factories*, 2016, vol. 15, pp. 1–18. <https://doi.org/10.1186/s12934-016-0603-7>

Поступила в редакцию 12.02.2025; одобрена после рецензирования 14.02.2025;

принята к публикации 15.02.2025; опубликована 31.03.2025

The article was submitted 12.02.2025; approved after reviewing 14.02.2025;

accepted for publication 15.02.2025; published 31.03.2025