

УДК 579.26: 579.222

Отходы Верхнекамского месторождения солей как источники выделения бактерий-деструкторов токсичных соединений

А. В. Назаров^{a, b}, О. В. Ястребова^a^a Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН

614081, Пермь, ул. Голева, 13. E-mail: nazarov@iegm.ru

^b Пермский государственный национальный исследовательский университет

614990, Пермь, ул. Букирева, 15

(статья поступила в редакцию 07.11.2025 г.)

В лаборатории микробиологии техногенных экосистем «Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН» более двадцати лет проводится изучение галотолерантных бактерий-деструкторов органических поллютантов, выделенных с территории разработок Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей (г. Березники, г. Соликамск, Пермский край), создана лабораторная коллекция данных бактерий. Предложены штаммы бактерий и бактериальный консорциум для очистки окружающей среды от нефти, нефтепродуктов, полициклических и ароматических углеводородов, хлорорганических соединений, эфиров фталевой кислоты. Выделенные бактерии-деструкторы являются представителями родов *Arthrobacter*, *Dietzia*, *Glutamicibacter*, *Halomonas*, *Martelella*, *Microbacterium*, *Oceanisphaera*, *Pseudarthrobacter*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Salinicola*, *Thalassospira*. Большинство бактериальных штаммов способно осуществлять биodeградацию целевых загрязнителей в условиях повышенного содержания солей. Таким образом, отходы добычи и переработки калийно-магниевого солей на Верхнекамском месторождении, а также загрязненные ими почвы, воды и донные отложения являются источником галотолерантных бактерий-деструкторов, которые могут быть использованы для разработки новых биотехнологических методов очистки загрязненных объектов окружающей среды, в том числе в условиях засоления. На основе штамма *Rhodococcus wratislaviensis* KT112-7 разработан микробный препарат «Полихлорокс», предназначенный для очистки почв, загрязненных хлорорганическими соединениями.

Ключевые слова: Верхнекамское месторождение калийно-магниевого солей, техногенное засоление, соледобыча, бактерии-деструкторы, стойкие органические загрязнители.

DOI: 10.17072/psu.geol.25.2.152

Введение

Промышленная добыча калийно-магниевого солей на Верхнекамском месторождении в Пермском крае приводит к образованию отходов, которые складываются в виде солеотвалов и шламохранилищ (рис. 1). Данные отходы, а также загрязненные ими почвы и воды характеризуются высокой минерализацией и содержанием токсичных органических загрязнителей. Основными из этих загрязнителей являются нефтепродукты, полициклические углеводороды, хлорорганические соединения, эфиры фталевой

кислоты (Бачурин, Одинцова, 2009). Отходы добычи калийно-магниевого солей и загрязненные ими почвы являются местообитанием бактерий, устойчивых к действию стрессовых условий, прежде всего к влиянию повышенной концентрации солей в среде, а также способных к деструкции токсичных органических соединений. Данные бактерии исследуются уже более двух десятилетий в Лаборатории микробиологии техногенных экосистем «Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН» (ЛМТЭ «ИЭГМ УрО РАН») с целью оценки их биodeградативного потенциала и возможности

© Назаров А. В., Ястребова О. В., 2026



Работа лицензирована в соответствии с CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

использования для создания биотехнологических методов очистки окружающей среды. В лаборатории создана и постоянно пополняется рабочая коллекция бактерий, выделенных из почв, донных отложений, сточных вод, отходов и шламов, расположенных на территории солеразработок (г. Березники, г. Соликамск, Пермский край). Большинство бактерий-деструкторов депонировано во Всероссийской коллекции микроорганизмов (ВКМ, ИБФМ РАН, г. Пущино). В результа-

те многолетней работы выявлены бактерии, способные разлагать нефть, нефтепродукты, полициклические и ароматические углеводороды, хлорорганические соединения, а также эфиры фталиевой кислоты. Целью данной работы является обзор данных о биodeградативных возможностях бактерий, выделенных из района промышленной добычи и переработки калийно-магниевых солей (Верхнекамское месторождение, Пермский край).

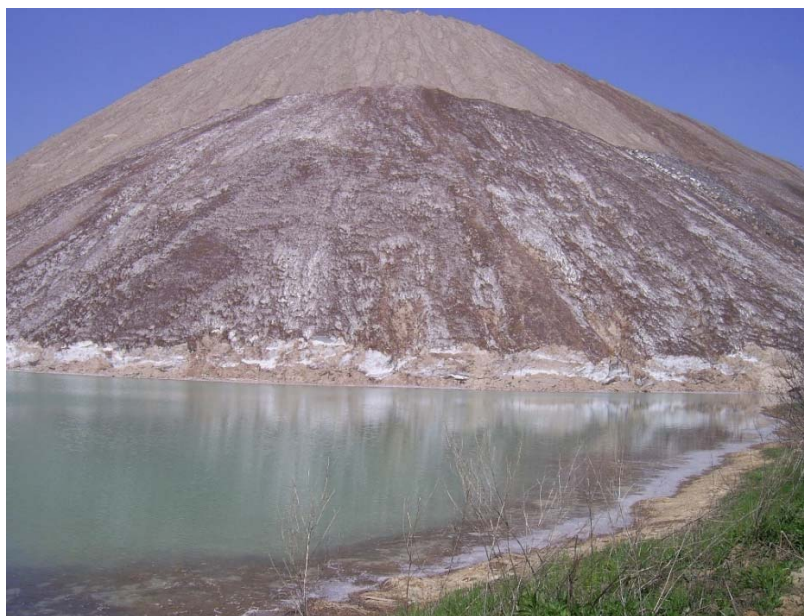


Рис. 1. Солеотвал ПАО «Уралкалий», г. Соликамск

Нефть, нефтепродукты, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)

Данные о способности бактерий, выделенных из района солеразработок Верхнекамского месторождения, осуществлять разложение нефти, нефтепродуктов и ПАУ представлены в табл. 1. Исследования проводились в Лаборатории микробиологии техногенных экосистем «ИЭГМ УрО РАН».

Для очистки почвы от нефти в условиях повышенной минерализации среды (NaCl до 7 %) к использованию предложен консорциум бактерий SMB3, включающий штаммы *Rhodococcus* sp. SMB37, *Rhodococcus* sp. SMB38, *Arthrobacter* sp. SMB32, *Microbacterium* sp. SMB33, *Thalassospira* sp. SMB34, *Halomonas* sp. SMB31 и

Salinicola socius SMB35 (Назаров и др., 2010). Внесение данного консорциума в загрязненную почву с засолением (3, 5, 7 % NaCl) приводило через 20 дней к уменьшению содержания в ней нефти и ПАУ (нафталин, аценафтен, антрацен, фенантрен). Оценена способность к деструкции бенз(а)пирена (БП) в почвах штаммом *Rhodococcus wratislaviensis* KT112-7 (Назаров, 2019), интродукция которого в дерново-подзолистую почву уменьшала содержание в ней бенз(а)пирена в течение месяца на 26 %, в технозем – на 45 %. Исследован процесс биodeградации дизельного топлива (ДТ) при повышенной солености среды галотолерантными штаммами *Rhodococcus* sp. NDT23 и *Dietzia* sp. NDT10 (Назаров и др., 2023; Nazarov et al., 2024). Выявлена способность *Rhodococcus* sp. NDT23 к деструкции угле-

водородов дизельного топлива при концентрации в среде до 100 г/л NaCl (Назаров и др., 2023), *Dietzia* sp. NDT10 – до 125 г/л NaCl (Nazarov et al., 2024). Установлено, что штамм *Glutamicibacter* sp.

PB8-1 (ВКМ Ас-2934D) осуществляет биодegradацию фенантрена при содержании в среде до 7 % NaCl (Ястребова и др., 2026).

Таблица 1. Деструкция нефти, нефтепродуктов и ПАУ бактериями, выделенными из района промышленной добычи и переработки калийно-магниевых солей

Бактерии	Эффективность биодegradации	Ссылки
Бактериальный консорциум SMB3 (<i>Rhodococcus</i> sp. SMB37, <i>Rhodococcus</i> sp. SMB38 (ВКМ Ас-3026), <i>Arthrobacter</i> sp. SMB32 (ВКМ Ас-3019), <i>Microbacterium</i> sp. SMB33 (ВКМ Ас-3021), <i>Thalassospira</i> sp. SMB34 (ВКМ В-2527), <i>Halomonas</i> sp. SMB31 (ВКМ В-3794), <i>Salinicola socius</i> SMB35 ^T (ВКМ В-2397 ^T))	Уменьшение содержания нефти в почве (начальная концентрация 1 %) через 20 дней при засолении почвы 3, 5, 7 % NaCl в вариантах опыта с внесением бактерий на 21, 22, 28 % соответственно, без внесения бактерий – на 9, 7, 0 % соответственно. Снижение концентрации нафталина – на 93–97 %, других ПАУ (аценафтен, антрацен, фенантрен) – на 40–62 % в сравнении с контролем без внесения бактерий.	(Назаров и др., 2010)
<i>Rhodococcus wratislaviensis</i> KT112-7 (ВКМ Ас-2623D)	Снижение концентрации БП в почвах (начальная концентрация 100 мг/кг) через месяц на 26 % в дерново-подзолистой почве и на 45 % в техноземе. Без внесения бактерий уменьшение содержания БП в почвах не выявлено.	(Назаров, 2019)
<i>Rhodococcus</i> sp. NDT23 (ВКМ Ас-3027)	Уменьшение концентрации ДТ в культуральной среде (начальная концентрация 1 г/л) через 14 дней при солёности 0–70 г/л NaCl на 43–60 %, при солёности 100 г/л NaCl – на 14 %.	(Назаров и др., 2023)
<i>Dietzia</i> sp. NDT10 (ВКМ Ас-2994D)	Уменьшение концентрации ДТ в культуральной среде (начальная концентрация 1 г/л) через 14 дней при солёности 0–100 г/л NaCl на 48–72 %, при солёности 125 г/л NaCl – на 10 %.	(Nazarov et al., 2024)
<i>Glutamicibacter</i> sp. PB8-1 (ВКМ Ас-2934D)	Снижение содержания фенантрена в культуральной среде (начальная концентрация 200 мг/л) через 72 часа при солёности 0–7 % NaCl на 67–100 %.	(Ястребова и др., 2026)

Хлорорганические соединения

Для очистки почв, загрязненных комплексом хлорорганических соединений (гексахлорбензол (ГХБ), полихлорированные бифенилы (ПХБ), линдан, дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ), дихлордифенилдихлорэтан (ДДД), триаллат), предложено использовать штамм *Rhodococcus wratislaviensis* KT112-7 (ВКМ Ас-2623D) (Назаров и др., 2015a, 2015b; Егорова и др., 2015). Внесение бактерий данного штамма в загрязненную хлорорганическими токсичными соединениями почву, отобранную с промышленной площадки г. Чапаевска Самарской области, уменьшало концентрацию ГХБ через 14 дней и через 3 месяца в 1,2–2,2 раза в сравнении с контролем без внесения бактерий; линдана –

в 2,0–3,3 раза; ДДТ и ДДД – в 1,2–1,9 раза; триаллата – в 1,3–3,0 раза (Назаров и др., 2015a, 2015b). Содержание ПХБ в почве при внесении бактерий снижалось через 14 дней в 1,2–2,7 раза (Назаров и др., 2015a), через 3 месяца – в 4,1–4,2 раза (Егорова и др., 2015). В результате проведенных исследований обнаружено, что штамм *R. wratislaviensis* KT 112-7 эффективно разлагает коммерческую смесь ПХБ марки «Совол» в культуральной среде, в которой суммарная концентрация ПХБ (начальная концентрация 0,8 г/л) снизилась через пять суток на 93,8 % (Егорова и др., 2015). Установлено, что данный штамм осуществляет трансформацию моно- и дихлорированных бифенилов при концентрации в среде до 50 г/л NaCl (Егорова и др., 2018). Содержание 2-/4-моноклорированных

бифенилов (начальная концентрация 94,25 мг/л) уменьшилось через 24 часа на 20–100 %, 2,4'-дихлорбифенила (начальная концентрация 22,3 мг/л) – на 13–100 %.

Эфиры фталевой кислоты (ЭФК)

Из отходов соледобычи и загрязненных ими почв были выделены бактерии-деструкторы ЭФК (диэтилфталата (ДЭФ), дибутилфталата (ДБФ) и диоктилфталата (ДОФ)) родов: *Arthrobacter*, *Dietzia*, *Glutamicibacter*, *Halomonas*, *Martellella*, *Oceanisphaera*, *Pseudomonas*, *Pseudarthrobacter*, *Rhodococcus* (Ястребова и др., 2019, 2026, 2025a; Ястребова, Назаров, 2025; Назаров, 2020; Корсакова и др., 2023; Korsakova et al., 2025; Пьянкова и др., 2024) (табл. 2).

Штамм *Rhodococcus wratislaviensis* KT112-7 предложен для очистки загрязненной почвы от ДБФ и ДОФ (Назаров и др., 2015a, 2015b; Назаров, 2020). Обнаружена способность штаммов *Glutamicibacter* sp. PB8-1 и *Pseudarthrobacter* sp. NKDBFgelt осуществлять деструкцию ДБФ при содержании в среде NaCl до 7 % (Ястребова и др., 2025, 2026). Штамм NKDBFgelt (ВКМ Ас-3035), растет на ДБФ и орто-фталевой кислоте (ОФК) при повышенной концентрации соли в среде (до 30 и 50 г/л NaCl соответственно). К 72 часам культивирования штамм утилизировал 75,2 % ДБФ (200 мг/л)

в среде без добавления соли, а также 66,95–27,80 % ДБФ в среде с повышенной концентрацией NaCl (30–70 г/л). Анализ генома данного штамма выявил кластеры генов, участвующих в разложении бензойной кислоты, ДБФ, ОФК, и гены, кодирующие ферменты основных путей деструкции ароматических соединений.

Штамм *Glutamicibacter* sp. PB8-1 (ВКМ Ас-2934D) использует в качестве ростовых субстратов нафталин, фенантрен, дибутилфталат, диметилфталат и их метаболиты, а также способен к росту в полноценной среде с повышенным засолением (до 10 % NaCl). В минеральной среде с ДБФ или ОФК в качестве субстрата, рост штамма наблюдался при концентрации NaCl до 5 %. Рост штамма PB8-1 на ОФК сопровождался наиболее высокими значениями оптической плотности культуры, а также удельной скорости роста как в отсутствие соли, так и при повышенной концентрации NaCl в среде. Оптимальные показатели параметров роста штамма ($ОП_{600} = 0,91$; $\mu = 0,032 \pm 0,001 \text{ ч}^{-1}$) зафиксированы в среде с 3 % NaCl. При использовании ДБФ в качестве субстрата наблюдалось повышение продолжительности лаг-фазы роста штамма и снижение максимального значения оптической плотности культуры ($ОП_{600} = 0,65$ при 5 % NaCl) (рис. 2).

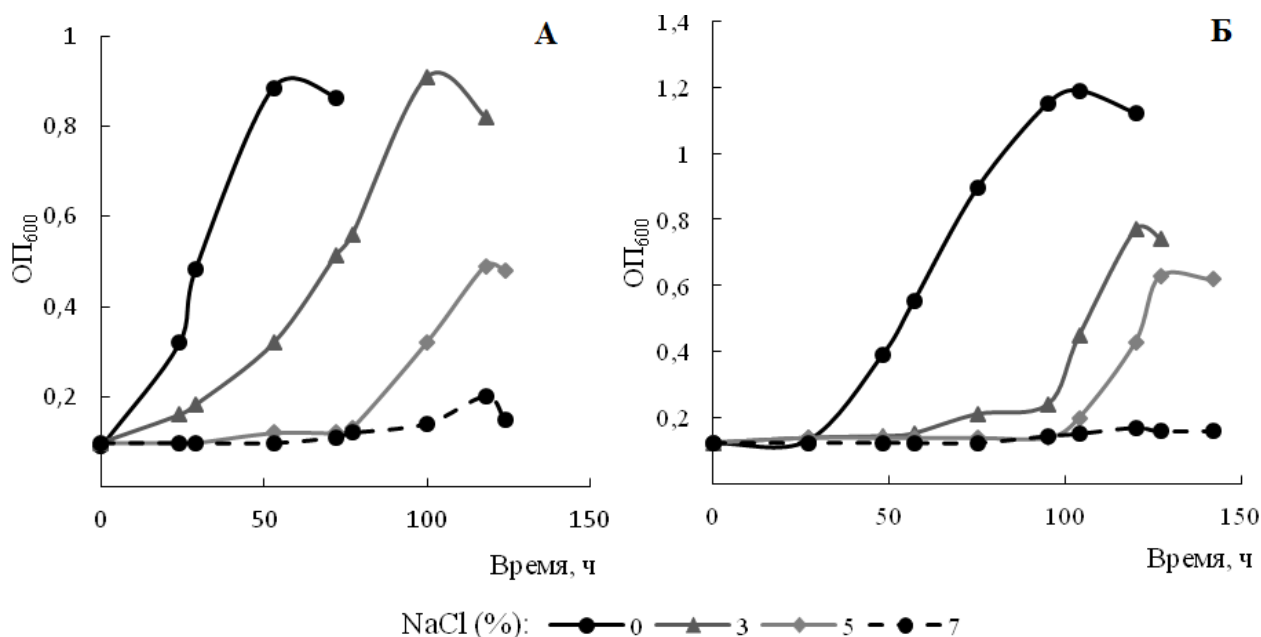


Рис. 2. Рост штамма *Glutamicibacter* sp. PB8-1 на ОФК (А) и ДБФ (Б) при различных концентрациях NaCl (%)

Установлена способность штаммов *Halomonas* sp. PG1, *Pseudomonas* sp. PG2, *Oceanisphaera* sp. PP23-2, *Dietzia* sp. 1BR, *Rhodococcus* sp. PP22-1, *Martelella* sp. PSH17-4, *Rhodococcus* sp. PD10-1, *Martelella* sp. PSH17-52 к биodeградации ДБФ с концентрацией в среде NaCl до 9 % (Ястребова и др., 2019). Данные штаммы способны к утилизации 90–98 % ДБФ и 49–80 % ДЭФ в концентрации 500 мг/л, при концентрации

NaCl в среде 50 г/л, а также в среде без добавления соли. Высокий уровень утилизации ДБФ (до 79 %) наблюдался при содержании 70 г/л NaCl в среде культивирования. Для большинства исследуемых штаммов зафиксированы более высокие ростовые показатели при выращивании в среде с повышенным засолением (30 г/л NaCl), чем в среде без добавления соли (Ястребова и др., 2019).

Таблица 2. Деструкция ЭФК бактериями, выделенными из района промышленной добычи и переработки калийно-магниевых солей

Бактерии	Эффективность биodeградации	Ссылки
<i>Glutamicibacter</i> sp. PB8-1 (ВКМ Ас-2934D)	Уменьшение концентрации ДБФ в культуральной среде (начальная концентрация 200 мг/л) через 72 часа при солёности 0–7 % NaCl на 28–76 %.	(Ястребова и др., 2026)
<i>Rhodococcus wratislaviensis</i> KT112-7 (ВКМ Ас-2623D)	Уменьшение содержания суммарного содержания ЭФК (ДБФ и ДОФ) в загрязненной почве через 14 дней и через 3 месяца в вариантах опыта с внесением бактерий в 1,2–2,2 раза, в сравнении с контролем без внесения бактерий.	(Назаров и др., 2015а; 2015b)
<i>Rhodococcus</i> sp. Rh7bel (ВКМ Ас-3023)	Снижение содержания ДБФ в культуральной среде (начальная концентрация 200 мг/л) через 72 часа на 71 %.	(Корсакова и др., 2023)
<i>Halomonas</i> sp. PG1, <i>Pseudomonas</i> sp. PG2, <i>Oceanisphaera</i> sp. PP23-2, <i>Dietzia</i> sp. 1BR, <i>Rhodococcus</i> sp. PP22-1, <i>Martelella</i> sp. PSH17-4, <i>Rhodococcus</i> sp. PD10-1, <i>Martelella</i> sp. PSH17-52 (ВКМ В-3781)	Уменьшение содержания ДБФ в культуральной среде (начальная концентрация 500 мг/л) через 72 часа на 55–96 %. Снижение концентрации ДЭФ в культуральной среде (начальная концентрация 500 мг/л) через 72 часа на 46–71 %.	(Ястребова и др., 2019)
<i>Pseudarthrobacter</i> sp. NKDBFgelt (ВКМ Ас-3035)	Снижение концентрации ДБФ в культуральной среде (начальная концентрация 200 мг/л) через 72 часа при солёности 0–7 % NaCl на 28–75 %.	(Ястребова и др., 2025а)
<i>Rhodococcus</i> sp. 5G1	Уменьшение концентрации ДБФ в культуральной среде (начальная концентрация 200 мг/л) через 72 часа на 51 %.	(Ястребова, Назаров, 2025)

Заключение

Таким образом, отходы соледобывающего производства на Верхнекамском месторождении, а также загрязненные ими почвы, воды и донные отложения являются местообитанием галотолерантных бактерий-деструкторов, которые могут быть использованы в биотехнологических целях, в том числе для разработки новых биологических методов очистки загрязненных объектов окружающей среды. Из отходов добычи и переработки калийно-магниевых солей и загрязненных ими сред, находящихся на территории Верхнекамского месторождения,

были выделены бактерии, разрушающие нефть, нефтепродукты и углеводороды, а именно бактериальный консорциум (*Rhodococcus* sp. SMB37, *Rhodococcus* sp. SMB38, *Arthrobacter* sp. SMB32, *Microbacterium* sp. SMB33, *Thalassospira* sp. SMB34, *Halomonas* sp. SMB31, *Salinicola socius* SMB35), а также бактерии родов *Glutamicibacter*, *Dietzia*, *Rhodococcus*. Для очистки почв от хлорорганических загрязнителей предложен штамм *Rhodococcus wratislaviensis* KT112-7, полученный из отходов соледобычи. На основе данного штамма разработан микробный препарат «Полихлорокс», предназначенный для очистки почв, загрязненных хлорорганиче-

скими соединениями. Кроме того, в данных отходах и загрязненных ими почвах, водах и донных отложениях были выявлены и отобраны в коллекцию бактерии-деструкторы ЭФК родов *Dietzia*, *Glutamicibacter*, *Halomonas*, *Martellella*, *Oceanisphaera*, *Pseudarthrobacter*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*. У большинства выделенных бактерий была обнаружена способность разрушать органические поллютанты в условиях повышенного содержания солей.

Исследования выполнены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (124020500028–4). В работе использовано оборудование Центра коллективного пользования «Исследования материалов и вещества» ПФИЦ УрО РАН.

Библиографический список

- Бачурин Б. А., Одинцова Т. А. Отходы горно-обогатительного производства как источники эмиссии органических поллютантов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 7. С. 374–380. EDN: LACHWR
- Егорова Д. О., Перова М. Г., Демаков В. А. и др. Особенности разложения хлорированных бифенилов штаммом *Rhodococcus wratislaviensis* KT112-7 в условиях засоления // Прикладная биохимия и микробиология. 2018. Т. 54, № 3. С. 253–263. DOI: 10.7868/S0555109918030042 EDN: UQEMQV
- Егорова Д. О., Плотникова Е. Г., Корсакова Е. С. и др. Галотолерантный штамм *Rhodococcus wratislaviensis* – деструктор полихлорированных бифенилов // Патент РФ № 2548804. 2015. EDN: WBJGAO
- Корсакова Е. С., Пьянкова А. А., Плотникова Е. Г. Бактерии-деструкторы дибутилфталата, выделенные из ризосферы мятлика лугового (*Poa pratensis* L.) // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2023. Вып. 4. С. 349–355. DOI: 10.17072/1994-9952-2023-4-349-355 EDN: YVPAJG
- Назаров А. В. Биоремедиация грунта, загрязненного синтетическими соединениями // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2020. № 4. С. 7–17. DOI: 10.15593/2224-9400/2020.4.01 EDN: XFVZCK
- Назаров А. В. Деструкция бенз(а)пирена в почве штаммом *Rhodococcus wratislaviensis* KT112-7, выделенным из отходов следобывающего предприятия // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2019. № 4. С. 412–416. DOI: 10.17072/1994-9952-2019-4-412-416 EDN: АННРТV
- Назаров А. В., Плотникова Е. Г., Ананьина Л. Н. и др. Средство для очистки загрязненных почв от нефти и полициклических ароматических углеводородов в условиях повышенной минерализации среды // Патент РФ № 2388816. 2010. EDN: SFJEIG
- Назаров А. В., Плотникова Е. Г., Егорова Д. О. и др. Способ очистки почв, загрязненных полихлорированными бифенилами и другими токсичными соединениями // Патент РФ № 2563660. 2015а. EDN: ZFKNNB
- Назаров А. В., Плотникова Е. Г., Егорова Д. О. и др. Средство для очистки почв, загрязненных гексахлорбензолом, линданом, дихлордифенилтрихлорэтаном, дихлордифенилдихлорэтаном, триаллатом и эфирами фталиевой кислоты (дибутилфталатом, диоктилфталатом) // Патент РФ № 2562156. 2015б.
- Назаров А. В., Пьянкова А. А., Корсакова Е. С. Особенности деструкции дизельного топлива штаммом *Rhodococcus* sp. NDT23 в условиях повышенной солености // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2023. Вып. 3. С. 242–249. DOI: 10.17072/1994-9952-2023-3-242-249 EDN: BWELMH
- Пьянкова А. А., Краева А. В., Нечаева Ю. И. и др. Выделение и характеристика штамма-деструктора дибутилфталата *Rhodococcus* sp. 5А-К4 // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2024. Вып. 3. С. 309–317. DOI: 10.17072/1994-9952-2024-3-309-317 EDN: RKQBVU
- Ястребова О. В., Назаров А. В. Характеристика штамма-деструктора дибутилфталата *Rhodococcus* sp. 5G1 // Экобиотех. 2025. № 3. С. 415–422. DOI: 10.31163/2618-964X/2025-29 EDN: TRSTYD
- Ястребова О. В., Назаров А. В., Плотникова Е. Г. Биотехнологический потенциал галотолерантного штамма-деструктора ароматических соединений *Glutamicibacter* sp. PB8-1 // Биотехнология. 2026. Т. 46, № 6. С. 1–9.
- Ястребова О. В., Пьянкова А. А., Назаров А. В. и др. Деструкция дибутилфталата галотолерантным штаммом *Pseudarthrobacter* sp. NKDBFgelt // Прикладная биохимия и микробиология. 2025. Т. 63, № 3. С. 283–293. DOI: 10.31857/S0555109925030064 EDN: FNVHRW

Ястребова О. В., Пьянкова А. А., Плотникова Е. Г. Бактерии-деструкторы фталатов, выделенные из района промышленной добычи и переработки калийно-магниевых солей // Прикладная биохимия и микробиология. 2019. Т. 55, № 4. С. 378–385. DOI: 10.1134/S0555109919040159 EDN: QGIAQD

Korsakova E., Nechaeva Yu., Plotnikova E. et al. Characterization and genomic analysis of *Arthrobac-*

ter sp. SF27, a promising dibutyl phthalate-degrading strain // Current Genomic. 2025. Vol. 26. Art e13892029343036. DOI: 10.2174/0113892029343036250210044540 EDN: UJYHJB

Nazarov A. V., Pyankova A. A., Korsakova E. S. et al. Degradation of diesel fuel by *Dietzia* sp. NDT 10 in saline conditions // Biological Communications. 2024. Vol. 69. P. 59–68.

Wastes of the Verkhnekamskoye Salt Deposit as Sources of Release of Bacteria-Destructors of Toxic Compounds

A.V. Nazarov^{a,b}, O.V. Yastrebova^a

^a Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 13 Goleva Str., Perm 614081, Russia

^b Perm State University, 15 Bukireva St, Perm 614068, Russia

E-mail: nazarov@iegm.ru

In the laboratory of microbiology of technogenic ecosystems of the Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, halotolerant bacteria-degraders collected from the territory of salt mining (Berezniki, Solikamsk, Perm Krai) have been studied for over twenty years, and a collection of these bacteria has been created. Bacterial strains and their associations are proposed for cleaning the environment from oil, oil products, polycyclic and aromatic hydrocarbons, organochlorine compounds, and phthalic acid esters. The isolated degradative bacteria belong to the following genera: *Arthrobacter*, *Dietzia*, *Glutamicibacter*, *Halomonas*, *Martellella*, *Microbacterium*, *Oceanisphaera*, *Pseudarthrobacter*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Salinicola* and *Thalassospira*. Most of these bacteria are capable of biodegrading pollutants in high-salt conditions. Thus, waste from potash mining at the Verkhnekamskoye deposit, as well as contaminated soils, waters, and bottom sediments, are a source of halotolerant degradative bacteria that can be used to develop new biotechnological methods for environmental remediation. Based on the *Rhodococcus wratislaviensis* KT112-7 strain, the microbial preparation "Polychlorox" was developed for cleaning soils contaminated with organochlorine compounds.

Key words: *Verkhnekamskoye potassium-magnesium salt deposit*; *technogenic salinization*; *salt mining*; *bacteria-degraders*; *persistent organic pollutants*

References

Bachurin B.A., Odintsova T.A. 2009. Otkhody gorno-obogatitel'nogo proizvodstva kak istochniki emissii organicheskikh pollyutantov [Mining and processing waste as sources of organic pollutant emission]. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten. 7:374–380. (in Russian)

Egorova D.O., Perova M.G., Demakov V.A. et al. 2018. Specific features of chlorinated biphenyl decomposition by *Rhodococcus wratislaviensis* strain KT112-7 under high salt conditions. Applied Biochemistry and Microbiology. 54(3):252–261.

Egorova D.O., Plotnikova E.G., Korsakova E.S. et al. 2015. Galotolerantnyy shtamm *Rhodococcus wratislaviensis* – destruktor polikhlorirovannykh bifenilov [Halotolerant strain of *Rhodococcus wratislaviensis* – destructor of polychlorinated biphenyls]. Patent RF 2548804. (in Russian)

Korsakova E., Nechaeva Yu., Plotnikova E. et al. 2025. Characterization and genomic analysis of *Arthrobacter* sp. SF27, a promising dibutyl phthalate-

degrading strain. Current Genomic. 26. Art e13892029343036.

Korsakova E.S., Pyankova A.A., Plotnikova E.G. 2023. Bakterii-destruktory dibutilftalata, vydelenyye iz rizosfery myatlika lugovogo (*Poa pratensis* L.) [Dibutyl phthalate-degrading bacteria isolated from the rhizosphere of meadow bluegrass (*Poa pratensis* L.)]. Vestnik Permskogo universiteta. Seriya Biologiya. 4:349–355. (in Russian)

Nazarov A.V. 2020. Bioremediatsiya grunta, zagryaznennogo sinteticheskimi soyedineniyami [Bioremediation of soil contaminated with synthetic compounds]. Vestnik Permskogo universiteta. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya. 4:7–17. (in Russian)

Nazarov A.V. 2019. Destruktsiya benz(a)pirena v pochve shtammom *Rhodococcus wratislaviensis* KT112-7, vydelennym iz otkhodov soledobyvayushchego predpriyatiya [Destruction of benzo(a)pyrene in soil by the strain *Rhodococcus wratislaviensis* KT112-7 collected from waste of salt mining enter-

prise]. Vestnik Permskogo universiteta. Seriya Biologiya. 4:412–416. (in Russian)

Nazarov A.V., Plotnikova E.G., Ananyina L.N. et al. 2010. Sredstvo dlya ochistki zagryaznennykh pochv ot nefti i politsiklicheskikh aromaticeskikh uglevodorodov v usloviyakh povyshennoy mineralizatsii sredy [A product for cleaning the contaminated soils from oil and polycyclic aromatic hydrocarbons in conditions of high mineralization of the environment]. Patent RF 2388816. (in Russian)

Nazarov A.V., Plotnikova E.G., Egorova D.O. et al. 2015. Sposob ochistki pochv, zagryaznennykh polikhlorirovannymi bifenilami i drugimi toksichnymi soyedineniyami [A method for cleaning soils contaminated with polychlorinated biphenyls and other toxic compounds]. Patent RF 2563660. (in Russian)

Nazarov A.V., Plotnikova E.G., Egorova D.O. et al. 2015. Sredstvo dlya ochistki pochv, zagryaznennykh geksakhlorbenzole, lindanom, dikhlordifeniltriokhloretanom, dikhlordifenildikhloretanom, triallatom i efirami ftaliyevoy kisloty (dibutilftalatom, dioktilftalatom) [A product for cleaning soils contaminated with hexachlorobenzene, lindane, dichlorodiphenyltrichloroethane, dichlorodiphenyldichloroethane, triallate and phthalic acid esters (dibutyl phthalate, dioctyl phthalate)]. Patent RF 2562156. (in Russian)

Nazarov A.V., Pyankova A.A., Korsakova E.S. et al. 2024. Degradation of diesel fuel by *Dietzia* sp. NDT 10 in saline conditions. Biological Communications. 69:59–68.

Nazarov A.V., Pyankova A.A., Korsakova E.S. 2023. Osobennosti destruktzii dizelnogo topliva

shtammom *Rhodococcus* sp. NDT23 v usloviyakh povyshennoy solenosti [Peculiarities of diesel fuel degradation by the *Rhodococcus* sp. NDT23 strain under conditions of high salinity]. Vestnik Permskogo universiteta. Seriya Biologiya. 3:242–249. (in Russian)

Pyankova A.A., Kraeva A.V., Nechaeva Yu.I. et al. 2024. Vydeleniye i kharakteristika shtamma-destruktora dibutilftalata *Rhodococcus* sp. 5A-K4 [Isolation and characterization of the dibutyl phthalate-degrading strain *Rhodococcus* sp. 5A-K4]. Vestnik Permskogo universiteta. Seriya Biologiya. 3:309–317. (in Russian)

Yastrebova O.V., Nazarov A.V. 2025. Kharakteristika shtamma-destruktora dibutilftalata *Rhodococcus* sp. 5G1 [Characteristics of the dibutyl phthalate-degrading strain *Rhodococcus* sp. 5G1]. Ekobiotekh. 3:415–422. (in Russian)

Yastrebova O.V., Nazarov A.V., Plotnikova E.G. 2026. Biotekhnologicheskiy potentsial galotolerantnogo shtamma-destruktora aromaticeskikh soyedineniy *Glutamicibacter* sp. PB8-1 [Biotechnological potential of the halotolerant aromatic compound-degrading strain *Glutamicibacter* sp. PB8-1]. Biotekhnologiya. 46(9):1–9. (in Russian)

Yastrebova O.V., Pyankova A.A., Nazarov A.V. et al. 2025. Degradation of dibutyl phthalate by the halotolerant strain sp. NKDBFgelt. Applied Biochemistry and Microbiology. 61(3):579–588.

Yastrebova O.V., Pyankova A.A., Plotnikova E.G. 2019. Phthalate-degrading bacteria isolated from an industrial mining area and the processing of potassium and magnesium salts. Applied Biochemistry and Microbiology. 55(4):397–404.