



ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

<http://ecobiotech-journal.ru>


БАКТЕРИАЛЬНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ИХ СОЛЕВЫХ СМЕСЕЙ

Коробов В.В., Жарикова Н.В.*, Журенко Е.Ю.

Уфимский Институт биологии Уфимского федерального
исследовательского центра РАН, Уфа, Россия

*E-mail: puzzle111@yandex.ru

Бактерии, выделенные из почв промышленных экотопов г. Уфы, изучались на способность к извлечению ионов тяжелых металлов из растворов смеси их солей, моделирующих состав сточных вод. В ходе исследования было установлено, что самыми доступными для изученных штаммов оказались ионы Pb(II) и Cr(VI) – из растворов их сорбировали по три штамма: *Bacillus megaterium* 32T, *Raoultella planticola* 36D, *Raoultella planticola* 33-4CPA, и *Pseudomonas* sp. 34DCP, *B. megaterium* 32T, *R. planticola* 36D, соответственно. Способность извлекать ионы Fe(III) выявили у двух культур – *Bacillus subtilis* 19S и *B. megaterium* 32T, ионы Cd(II) и Cu(II) сорбировал только штамм *Pseudomonas* sp. 34DCP. Наиболее сложными для бактериального извлечения из водных растворов смесей тяжелых металлов оказались ионы Co(II) – с ними не мог взаимодействовать ни один штамм. С наибольшей эффективностью, более 70%, из водных растворов смесей тяжелых металлов извлекались ионы Pb(II) клетками штаммов *B. megaterium* 32T и *R. planticola* 33-4CPA, а также Cr(VI) – культурами *B. megaterium* 32T и *R. planticola* 36D. С эффективностью более 50% ионы Cd(II) и Cu(II) сорбировались культурой *Pseudomonas* sp. 34DCP, ионы Pb(II) – культурой *R. planticola* 36D и ионы Fe(III) – культурой *B. subtilis* 19S, соответственно. В остальных случаях эффективность извлечения металлов из растворов бактериями была ниже (от 37% до 41%).

Ключевые слова: тяжелые металлы ♦ бактерии-деструкторы ♦ сточные воды ♦ биосорбция ♦ *Pseudomonas* ♦ *Bacillus* ♦ *Raoultella*

Поступила в редакцию: 12.12.2024

[Цитировать | Cite as](#)

DOI: [10.31163/2618-964X-2024-7-4-260-264](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2024-7-4-260-264)

EDN: [XKJCBW](https://www.edn.ru/XKJCBW)

ВВЕДЕНИЕ

Проблема охраны окружающей среды и рационального использования водных ресурсов является одной из центральных экологических задач. Высокие требования, предъявляемые санитарными и рыбохозяйственными органами к сточным водам, сбрасываемым в водоемы, растущие потребности предприятий в обеспечении водой все

BACTERIAL REMOVAL OF HEAVY METALS IONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS OF SALTS

Korobov V.V., Zharikova N.V.*, Zhurenko E.I.

Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Centre of
the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

*E-mail: puzzle111@yandex.ru

Bacteria isolated from industrial ecotopes of Ufa were studied for the uptake of metal ions from aqueous solutions of salts simulating the composition of wastewater. The study found that Pb(II) and Cr(VI) ions were the most accessible to the studied strains – they were removed from solutions by three strains each: *Bacillus megaterium* 32T, *Raoultella planticola* 36D, *Raoultella planticola* 33-4CPA and *Pseudomonas* sp. 34DCP, *B. megaterium* 32T, *R. planticola* 36D, respectively. The ability to remove Fe(III) ions was revealed in two cultures – *Bacillus subtilis* 19S and *B. megaterium* 32T, Cd(II) and Cu(II) ions were removed only by the *Pseudomonas* sp. 34DCP strain. The most difficult for heavy metals ions removing by bacteria were Co(II) ions; not a single strain could interact with them. With the highest efficiency, over 70%, Pb(II) ions were removed from aqueous solutions of salts by cells of the strains *B. megaterium* 32T and *R. planticola* 33-4CPA, as well as Cr(VI) ions by *B. megaterium* 32T and *R. planticola* 36D cultures. With an efficiency of over 50%, Cd(II) and Cu(II) ions were removed by the *Pseudomonas* sp. 34DCP culture, Pb(II) ions by the *R. planticola* 36D culture, and Fe(III) ions by the *B. subtilis* 19S culture, respectively. In other cases, the efficiency of heavy metals ions removing from aqueous solutions of salts by bacteria was lower (from 37% to 41%).

Keywords: heavy metals ♦ degrader bacteria ♦ wastewater ♦ biosorption ♦ *Pseudomonas* ♦ *Bacillus* ♦ *Raoultella*

Принято в печать: 19.12.2024



более остро ставят задачу максимального использования очищенных сточных вод в оборотных системах и разработки высокоэффективных методов очистки.

Одним из главных видов загрязнений промышленных сточных вод является присутствие в них ионов тяжелых металлов (Cd, Ni, Cr, Zn, Cu, Fe и др.). Эти загрязнения характерны для сточных вод машиностроительной и горно-обогатительной отраслей промышленности, а также химической и нефтехимической промышленности (процессы с использованием металлических катализаторов, производство вискозы, свинцовых белил и пр.) и представляют собой угрозу экологическому равновесию природных экосистем и здоровью человека [Жукова и др., 1998]. Тяжелые металлы, попадая в организм человека, обладают общетоксическим и кумулятивным действием (накапливаются в почках, печени, поджелудочной железе), а также аллергенным (Ni, Cr), тератогенным (воздействие на плод, вызывающее уродства у детей) (Cd), канцерогенным (Ni, Cr, Zn) и мутагенным действием (Cd, Ni, Cr, Zn, Cu) [Зигель Х., Зигель А., 1993].

Тяжелые металлы в природных водах находятся в растворенном и адсорбированном состоянии. Попадая в воду в ионной форме, они накапливаются в осадках в виде гидроксидов, карбонатов, сульфидов или фосфатов. Содержание различных металлов в водоемах варьирует в широких пределах. Высокие концентрации тяжелых металлов обнаруживаются в верхних слоях воды. По своей токсичности тяжелые металлы можно расположить в следующей последовательности: ртуть, серебро, медь, кадмий, цинк, свинец, хром, никель, кобальт [Авакян, 1967]. Однако этот порядок может изменяться в зависимости от вида организма и от того, присутствуют ли эти элементы в растворе в виде свободного иона, недиссоциированной соли, либо входят в состав органических или неорганических комплексных соединений. Недиссоциированные соли и ионы, образующие комплексы, обычно менее токсичны, чем свободные ионы в тех же концентрациях [Илялетдинов, 1980].

Известно, что различные типы биомассы способны эффективно накапливать ионы тяжелых металлов, являясь, таким образом, одним из наиболее важных биосорбентов, используемых для удаления/детоксикации металлов, вследствие чего адсорбция тяжелых металлов на стенках бактериальных клеток получила значительное внимание в экспериментальных и модельных исследованиях [Oves et al., 2013].

Цель настоящей работы – изучение способности бактерий, выделенных из почв промышленных экотопов г. Уфы, к извлечению ионов тяжелых металлов из растворов смеси их солей, моделирующих состав сточных вод.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись штаммы бактерий из коллекции микроорганизмов Уфимского Института биологии УФИЦ РАН: *Bacillus subtilis* 19S, *Pseudomonas* sp. 34DCP, *Bacillus megaterium* 32T, *Raoultella planticola* 36D и *Raoultella planticola* 33-4CPA. Штаммы микроорганизмов выделены из образцов почвы промышленной зоны заводов АО «Дубитель», ОАО «Химпром» и АО НУНПЗ. Данные штаммы являются деструкторами фенола и его хлорированных производных [Zharikova et al., 2018].

Эффективность извлечения ионов тяжелых металлов из растворов солей бактериальными клетками оценивалась по методике, описанной ранее [Коробов и др., 2023].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для каждого штамма были приготовлены растворы смесей солей тяжелых металлов, к которым данный штамм ранее проявил способность к извлечению [Коробов и др., 2023]. В таблице представлены данные по начальным и конечным концентрациям ионов тяжелых металлов и эффективность извлечения ионов в водном растворе солей после инкубации микроорганизмов.

Таблица. Эффективность извлечения ионов тяжелых металлов в растворах смеси их солей

Штаммы бактерий	Ионы тяжелых металлов, в растворах	Извлекаемый ион	Начальная концентрация ионов, мг/л	Остаточная концентрация ионов, мг/л	Эффективность извлечения ионов, %
<i>Bacillus subtilis</i> 19S	Fe ³⁺ +Co ²⁺	Fe ³⁺	42.0	19.50	54
		Co ²⁺	22.13	20.00	–
<i>Bacillus megaterium</i> 32T	Cr ⁶⁺ +Co ²⁺ + Fe ³⁺ +Pb ²⁺	Fe ³⁺	26.25	16.50	37
		Cr ⁶⁺	19.5	4.0	79
		Co ²⁺	11.07	10.00	–
		Pb ²⁺	38.82	7.0	82
<i>Raoultella planticola</i> 36D	Co ²⁺ +Pb ²⁺ + Fe ³⁺ +Cr ⁶⁺ + Cu ²⁺	Fe ³⁺	16.8	16.5	–
		Co ²⁺	8.85	8.75	–
		Pb ²⁺	31.05	9.5	69
		Cr ⁶⁺	15.6	4.0	74
		Cu ²⁺	9.54	8.75	–
<i>Raoultella planticola</i> 33-4CPA	Pb ²⁺ +Cu ²⁺	Pb ²⁺	77.63	17.0	78
		Cu ²⁺	23.85	21.95	–
<i>Pseudomonas</i> sp. 34DCP	Cr ⁶⁺ +Co ²⁺ + Cd ²⁺ +Cu ²⁺	Cr ⁶⁺	19.5	11.5	41
		Co ²⁺	11.07	9.00	–
		Cd ²⁺	21.08	7.75	63
		Cu ²⁺	11.93	3.97	67

Примечание. Прочерком показано, что уменьшение концентрации этих металлов представляется недостоверным вследствие перекрытия границ относительной погрешности.

ОБСУЖДЕНИЕ

Самыми доступными для изученных штаммов оказались ионы Pb(II) и Cr(VI) – их сорбировали из их смесей по три штамма: *B. megaterium* 32T, *R. planticola* 36D, *R. planticola* 33-4CPA, и *Pseudomonas* sp. 34DCP, *B. megaterium* 32T, *R. planticola* 36D, соответственно.

Способность извлекать из растворов ионы Fe(III) выявили у двух культур – *B. subtilis* 19S и *B. megaterium* 32T, ионы Cd(II) и Cu(II) сорбировал только штамм *Pseudomonas* sp. 34DCP. Наиболее сложными для бактериального извлечения из водных растворов смесей тяжелых металлов оказались ионы Co(II), с ними не мог взаимодействовать ни один штамм.

Стоит отметить, что в предыдущем исследовании [Коробов и др., 2023], когда изучалось возможность извлечений ионов из водных растворов, содержащих только одну соль тяжелых металлов, ионы Co(II) мог сорбировать только один штамм из пяти изученных – *R. planticola* 36D. Как видим, из полученных результатов, из водных растворов смеси солей тяжелых металлов данный штамм преимущественно сорбировал другие ионы.

С наибольшей эффективностью, более 70%, из водных растворов смесей тяжелых металлов извлекались ионы Pb(II) клетками штаммов *B. megaterium* 32T и *R. planticola* 33-4CPA, а также Cr(VI) – культурами *B. megaterium* 32T и *R. planticola* 36D. С эффективностью более 50% ионы Cd(II) и Cu(II) сорбировались культурой *Pseudomonas* sp. 34DCP, ионы Pb(II) – культурой *R. planticola* 36D и ионы Fe(III) – культурой *B. subtilis* 19S, соответственно. В остальных случаях эффективность извлечения металлов из растворов бактериями была ниже (от 37% до 41%).

Из литературных данных известно, что бактерии являются эффективными агентами для удаления ионов тяжелых металлов при их низких концентрациях (50 мг/л или менее). Изучение биосорбции ионов Cd(II) и Cr(VI) в концентрации 50 мг/л из водных растворов бактериями *E. coli* и *B. subtilis*. показало, что из растворов первый штамм удаляет 68.5% кадмия и 58.1% хрома, а второй – 62.6% и 57%, соответственно [Huang et al., 2001]. Опыты с биосорбцией Cr(VI) и Cu(II) (в концентрации 20 мг/л) штаммом *Pseudomonas aeruginosa* на 21-й день выявили удаление 89.67 и 90.89%, соответственно [Oyewole et al., 2019]. Эксперименты с удалением Pb(II) и Zn(II) клетками бактерии *Oceanobacillus profundus* KBZ 3-2, выделенной из загрязненного целевыми ионами экотопа, показали, что максимальный процент удаления Pb(II) составил 97% при начальной концентрации 50 мг/л, тогда как максимальный процент удаления Zn(II) составил 54% при начальной концентрации 2 мг/л [Mwandira et al., 2020].

Сравнение полученных нами результатов с данными других исследователей, позволяют сделать вывод, что при инкубации бактериальных клеток с растворами смесей солей тяжелых металлов происходит избирательная сорбция ионов в зависимости от природы тяжелого металла и культуры микроорганизма. Определенные бактериальные штаммы извлекают ионы избирательно, отдавая предпочтение тем или иным тяжелым металлам. В данном эксперименте предпочтение отдавалось ионам свинца, хрома и железа, что, скорее всего, связано с большим сродством бактериальных клеточных стенок к этим ионам.

Обнаруженные свойства указывают на принципиальную возможность применения исследованных природных бактерий для разработки технологий очистки окружающей среды от ионов тяжелых металлов. Особенно стоит обратить внимание на штаммы *B. megaterium* 32T, *R. planticola* 36D и *Pseudomonas* sp. 34DCP, которые с высокой эффективностью могут

извлекать несколько исследованных ионов из водных растворов, содержащих смесь солей тяжелых металлов.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России по теме № 220131100163-4. При проведении исследований использовали оборудование ЦКП «Агидель» УФИЦ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян З.А. Сравнительная токсичность тяжелых металлов для некоторых микроорганизмов // Микробиология. 1967. Т. 36. № 6. С. 446–450.
2. Жукова А.А., Жолобова Л.В., Кузнецов Н.П., и др. Очистка промстоков гальванических производств // Экология и промышленность России. 1998. №3. С. 17–19.
3. Илялетдинов А.Н. Микробиологическая очистка воды от тяжелых металлов // Водные ресурсы. 1980. № 2. С. 158–169.
4. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов / Под ред. Х. Зигель, А. Зигель. М.: Мир, 1993. 368 с.
5. Коробов В.В., Жарикова Н.В., Журенко Е.Ю. Возможность использования бактерий-деструкторов хлорфеноксикислот для извлечения ионов тяжелых металлов из водных растворов // Экобиотех. 2023. Т. 6 № 4. С. 236–240. DOI: [10.31163/2618-964X-2023-6-4-236-240](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-4-236-240)
6. Huang Ms., Pan J., Zheng Lp. Removal of heavy metals from aqueous solutions using bacteria // Journal of Shanghai University. 2001 V. 5. P. 253–259. DOI: [10.1007/s11741-996-0035-4](https://doi.org/10.1007/s11741-996-0035-4)
7. Mwandira W., Nakashima K., Kawasaki S. et al. Biosorption of Pb (II) and Zn (II) from aqueous solution by *Oceanobacillus profundus* isolated from an abandoned mine // Scientific Reports. 2020. V.10. 21189. DOI: [10.1038/s41598-020-78187-4](https://doi.org/10.1038/s41598-020-78187-4)
8. Oves M., Khan M.S., Zaidi A. Biosorption of heavy metals by *Bacillus thuringiensis* strain OSM29 originating from industrial effluent contaminated north Indian soil // Saudi Journal of Biological Sciences. 2013. V. 20. N. 2. P. 121–129. DOI: [10.1016/j.sjbs.2012.11.006](https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.11.006)
9. Oyewole O.A., Zobeashia S.S.LT., Oladoja E.O. et al. Biosorption of heavy metal polluted soil using bacteria and fungi isolated from soil // SN Appl. Sci. 2019. V. 1. Article 857. DOI: [10.1007/s42452-019-0879-4](https://doi.org/10.1007/s42452-019-0879-4)
10. Zharikova N.V., Iasakov T.R., Bumazhkin B.K. et al. Isolation and sequence analysis of pcs36-4cpa, a small plasmid from *Citrobacter* sp. 36-4CPA // Saudi Journal of Biological Sciences. 2018. V. 25. N. 4. P. 660–671. DOI: [10.1016/j.sjbs.2016.02.014](https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.02.014)

Цитировать как

Коробов В.В., Жарикова Н.В., Журенко Е.Ю. Бактериальное извлечение ионов тяжелых металлов из водных растворов их солевых смесей // Экобиотех, 2024, Т. 7 № 4. С. 260-264. DOI: [10.31163/2618-964X-2024-7-4-260-264](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2024-7-4-260-264) EDN: XKJCBW

Cited as

Korobov V.V., Zharikova N.V., Zhurenko E.I. Bacterial removal of heavy metals ions from aqueous solutions of salts. *Ekobiotech*. 2024, V. 7 (4). P. 260-264. DOI: [10.31163/2618-964X-2024-7-4-260-264](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2024-7-4-260-264) EDN: XKJCBW (In Rus.)