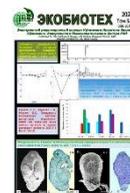




# ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

<http://ecobiotech-journal.ru>


## ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАКТЕРИЙ-ДЕСТРУКТОРОВ ХЛОРФЕНОКСИКИСЛОТ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

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

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

\*E-mail: [puzzle111@yandex.ru](mailto:puzzle111@yandex.ru)

Исследована способность к извлечению ионов тяжелых металлов из металлоносных водных растворов бактериями-деструкторами хлорфеноксикислот, изолированными из почв промзоны г. Уфы. В ходе исследования было установлено, что, самыми доступными для изученных культур оказались ионы Fe(II) – по отношению к ним активны четыре штамма, а именно: *Stenotrophomonas maltophilia* 33D, *Enterobacter* sp. 38P, *Raoultella planticola* 36D и *Achromobacter spanius* 36P. С наибольшей эффективностью, более 70%, из водных растворов извлекались ионы Pb(II) и Fe(II) клетками штаммов *R. planticola* 36D и *S. maltophilia* 33D, соответственно. С эффективностью более 50% сорбировались ионы Pb(II) и Cu(II) культурами *R. planticola* 33 4CPA и *R. planticola* 36D, соответственно. Таким образом, штамм 36D не только извлекал все исследованные ионы из растворов, но и в случае Pb(II) и Cu(II) делал это с высокой эффективностью. Обнаруженные свойства указывают на принципиальную возможность применения природных бактерий для разработки технологий очистки окружающей среды от ионов тяжелых металлов.

**Ключевые слова:** бактерии-деструкторы ♦ тяжелые металлы ♦ биосорбция ♦ сточные воды ♦ хлорфеноксикусные кислоты

Поступила в редакцию: 08.12.2023

[Цитировать | Cite as](#)

DOI: [10.31163/2618-964X-2023-6-4-236-240](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-4-236-240)

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

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема очистки сточных вод от загрязнителей различной природы весьма актуальна, в частности для республики Башкортостан. На территории республики находятся крупные машиностроительные предприятия, предприятия горнодобывающей, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, ежегодно с очистных сооружений которых в большом количестве сбрасываются сточные воды, где загрязнения различного характера, в частности хлорароматическими соединениями, соседствуют с высоким содержанием ионов тяжелых металлов [Денисов, 2007].

## POSSIBILITY OF USING BACTERIA DEGRADING CHLOROPHENOXY ACIDS TO BIOSORB HEAVY METAL IONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS

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](mailto:puzzle111@yandex.ru)

The ability to sorb heavy metals from aqueous solutions by bacteria degrading chlorophenoxy acids isolated from the soils of the industrial zone of Ufa was studied. Fe(II) ions turned out to be the most accessible to bacteria – they were accumulated by four strains, namely: *Stenotrophomonas maltophilia* 33D, *Enterobacter* sp. 38P, *Raoultella planticola* 36D and *Achromobacter spanius* 36P. With the greatest efficiency of more than 70%, Pb(II) and Fe(II) ions were sorbed from aqueous solutions by the cells of strains *R. planticola* 36D and *S. maltophilia* 33D, respectively. Pb(II) and Cu(II) ions were sorbed with an efficiency of more than 50% by *R. planticola* 33 4CPA and *R. planticola* 36D cultures, respectively. Thus, strain 36D not only accumulated all the studied ions from solutions, but also did this with high efficiency in the case of Pb(II) and Cu(II). The discovered properties indicate the fundamental possibility of using natural bacteria to develop technologies for remediation of the environment from heavy metal ions.

**Keywords:** degrader bacteria ♦ heavy metals ♦ biosorption ♦ wastewater ♦ chlorophenoxyacetic acids

Принято в печать: 18.12.2023



Тяжелые металлы обычно определяются как металлы с плотностью более 5 г /см<sup>3</sup>. Металлы, необходимые для нормального клеточного роста, являются незаменимыми металлами, например, железо, медь, кобальт, хром, цинк, никель, и т.д. Такие металлы необходимы в низких концентрациях (нМ), но при более высоких концентрациях (от мкМ до мМ) все тяжелые металлы оказывают пагубное воздействие на организмы. Если металлы не обладают известной биологической функцией, их называют несущественными металлами, к таким относятся, например, свинец, кадмий, ртуть. Такие металлы токсичны в любой концентрации [Shamim, 2018].

Для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов наряду с физико-химическими методами используются и биологические методы. В отличие от загрязнителей органического происхождения, металлы не подвергаются биологическому разложению, а лишь перераспределяются и аккумулируются в объектах окружающей среды. Известно, что микроорганизмы могут изменять подвижность металлов с помощью различных механизмов, таких как осаждение и растворение. Кроме того, клетки бактерий могут быть использованы как сорбенты, благодаря природе и составу мембран. Сорбция клеточными стенками и накопление внутри клеток микроорганизмов (бактерий, мицелиальных грибов, дрожжей, водорослей) отмечена для ионов Pb, Hg, Cu, Ni, Co, Mn, Cr, V, Au, Ag, Se [Shamim, 2018].

Важным моментом при выборе бактерий для такой очистки является их устойчивость к высоким концентрациям ионов тяжелых металлов. Поэтому для исследования были выбраны штаммы-деструкторы хлорфеноксикислот из образцов почвы промышленной зоны г. Уфы, загрязненной хлорароматическими соединениями и ионами тяжелых металлов. Кроме того, целесообразно использовать для очистки почв и сточных вод аборигенные штаммы бактерий, так как они максимально приспособлены к имеющимся высоким концентрациям загрязняющих компонентов и климатическим условиям региона.

Цель настоящего исследования – выявить способность и эффективность извлечения ионов тяжелых металлов у бактерий-деструкторов хлорфеноксикислот, изолированных из почв промзоны г. Уфы.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов были использованы штаммы *Stenotrophomonas maltophilia* 33D, *Enterobacter* sp. 38P, *Raoultella planticola* 36D, *Raoultella planticola* 33 4CPA и *Achromobacter spanius* 36P, выделенные из почв промзоны г. Уфы и ранее установленные как деструкторы хлорфеноксиуксусных кислот [Zharikova et al., 2021; Маркушева и др 2011].

Изучение способности к извлечению ионов тяжелых металлов, а именно: Cr(VI), Co(II), Fe(II), Pb(II) и Cu(II), проводили по следующей схеме.

В пробирки, содержащие 30 мкл 0.01 М водного раствора соли тяжелого металла, вносили 400 мкл суспензии микробной культуры, с титром  $\geq 10^8$ .

Через 5 минут инкубации при комнатной температуре биомассу отделяли центрифугированием в течение 30 мин при 3630g на микроцентрифуге Eppendorf.

Далее в растворе определяли концентрацию ионов металла. Для этого из исходных проб отбирали аликвоты по 0.1 мл и доводили объем раствора в мерной колбе дистиллированной водой до 50 мл. Перед определением содержания ионов металлов проводилась предварительная пробоподготовка, заключающаяся в разрушении растворимых органических веществ и их комплексов с металлами. Пробу объемом 20 мл помещали в кварцевую пробирку, добавляли 0.2 мл концентрированной азотной кислоты. Подкисленные и разбавленные пробы обрабатывали в ультразвуковом устройстве «Серьга» УЗУ-0.25 при частоте 18 кГц в течение 10 минут. Вслед за этим проводили определение содержания тяжелых металлов методом атомно-абсорбционной спектрометрии на двухлучевом атомно-абсорбционном спектрофотометре АА-6200 с пламенной атомизацией.

Полученные значения концентрации ионов металлов в пробах (с учетом разбавления) и контроле подвергались статистической обработке, в ходе которой были определены погрешности измерений, а также контроль воспроизводимости результатов измерений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1 приведены результаты количественного анализа извлечения ионов тяжелых металлов из водных растворов.

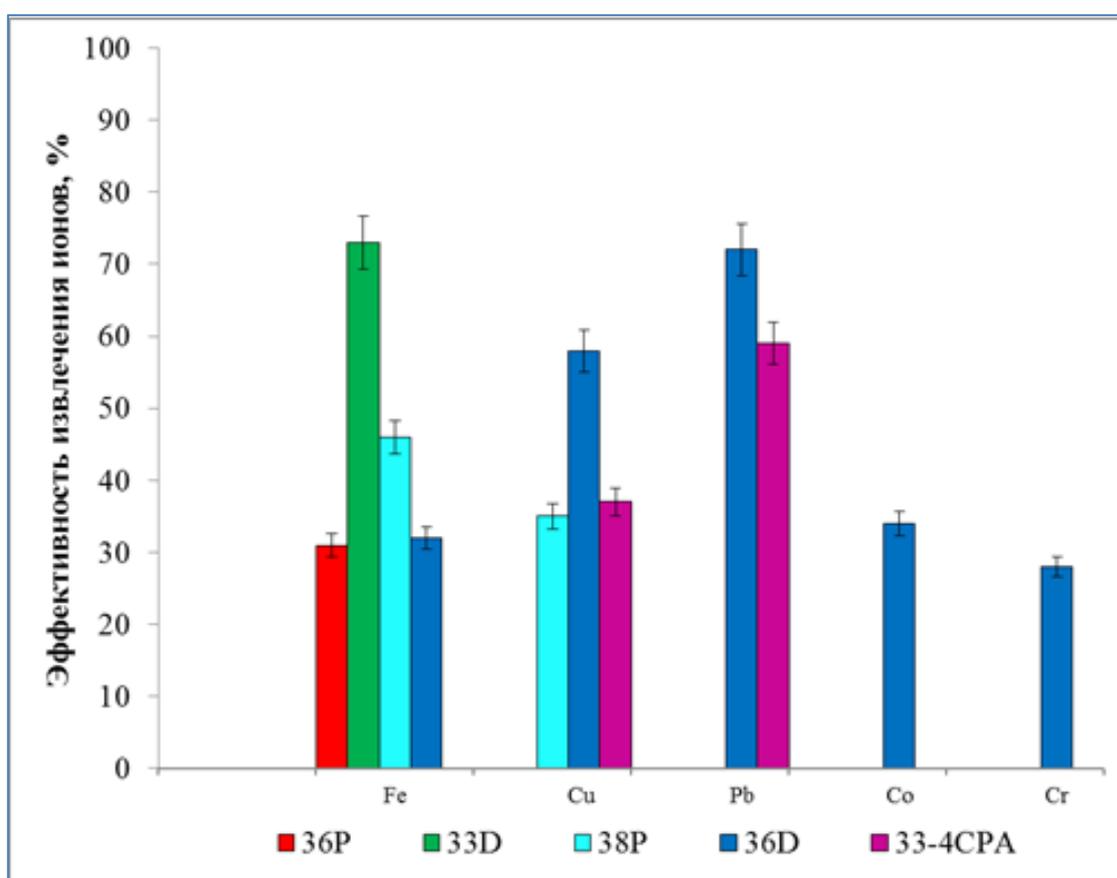


Рис. 1. – Гистограмма, демонстрирующая эффективность извлечения ионов тяжелых металлов из растворов.

Условные обозначения: 36P – штамм *Achromobacter spanius* 36P, 33D – штамм *Stenotrophomonas maltophilia* 33D, 38P – штамм *Enterobacter* sp. 38P, 36D – штамм *Raoultella planticola* 36D, 33 4CPA – штамм *Raoultella planticola* 33 4CPA.

Из данных рис.1 видно, что ионы Fe(II) из водных растворов способны извлекать клетки четырех штаммов с различной эффективностью, а именно: *S. maltophilia* 33D – 73%, *Enterobacter* sp. 38P – 46%, *R. planticola* 36D – 32% и *A. spanius* – 32 %. К ионам Cu(II) проявили активность три бактериальные культуры: *Enterobacter* sp. 38P (35%), *R. planticola* 36D (58%) и *Raoultella planticola* 33 4CPA (37%). Ионы Pb(II) аккумулировали представители рода *Raoultella* 36D и 33 4CPA с эффективностью 72 и 59%, соответственно. Только один штамм, *R. planticola* 36D был способен извлекать из водных растворов ионы Co(II) и Cr(VI) с эффективностью 34 и 28%, соответственно.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Необходимо отметить, что первым этапом биосорбции является взаимодействие клеточной стенки бактерий с ионом металла. Ионы металлов присоединяются к функциональным группам (карбоксильной, гидроксильной, фосфатной, сульфатной, аминокислотной), присутствующим на клеточной стенке. Общий процесс поглощения металлов включает связывание ионов металлов с реакционноспособными группами, присутствующими на клеточной стенке бактерий, с последующей интернализацией ионов металлов внутри клетки. Грамположительные бактерии поглощают больше металлов из-за присутствия гликопротеинов, в отличие от грамотрицательных бактерий, которые содержат фосфолипиды и липополисахариды [Shamim, 2018].

В работах разных авторов были выявлены бактерии, способные с различной эффективностью извлекать ионы тяжелых металлов, исследуемых в данной работе, из водной среды. Так биосорбцию хрома осуществляли штаммы *Micrococcus* sp., *Bacillus licheniformis*, *Pseudomonas* sp. с эффективностью 92%, 95% и 38%, соответственно [Hussein et al., 2004; Congeevaram et al., 2007]. Медь аккумулировали *Pseudomonas* sp. (50-93%) [Hussein et al., 2004] и *Bacillus licheniformis* (32%) [Congeevaram et al., 2007].

В ходе нашего исследования было установлено, что бактерии-деструкторы хлорфеноксикислот, изолированные из почв промзоны г. Уфы, способны извлекать ионы тяжелых металлов из металлоносных водных растворов. Самыми доступными для изученных культур оказались ионы Fe(II) – по отношению к ним активны четыре штамма, а именно: *S. maltophilia* 33D, *Enterobacter* sp. 38P, *R. planticola* 36D и *A. spanius* 36P. Вторыми по доступности были ионы Cu(II) их аккумулировали три культуры – *Enterobacter* sp. 38P, *R. planticola* 36D, *R. planticola* 33 4CPA. Наиболее сложными для бактериального извлечения из водных растворов оказались ионы Cr(VI), Co(II) и Pb(II), к ним оказались активны только один или два представителя рода *Raoultella*. Стоит отметить, что штамм *R. planticola* 36D был способен аккумулировать все исследованные ионы металлов.

С наибольшей эффективностью, более 70%, из водных растворов извлекались ионы Pb(II) и Fe(II) клетками штаммов *R. planticola* 36D и *S. maltophilia* 33D. С эффективностью более 50% сорбировались ионы Pb(II) и Cu(II) культурами *R. planticola* 33 4CPA и *R. planticola* 36D. Таким образом, штамм 36D не только извлекал все исследованные ионы

из растворов, но и в случае Pb(II) и Cu(II) делал это с высокой эффективностью. В остальных случаях эффективность извлечения металлов из растворов бактериями была ниже (от 28% до 40%).

Обнаруженные свойства указывают на принципиальную возможность применения природных бактерий для разработки технологий очистки окружающей среды от ионов 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. Денисов А.А. Очистки сточных вод от тяжелых металлов с помощью внеклеточных биополимеров// экология и промышленность России. 2007. № 8. С. 42-44.
2. Маркушева Т.В., Журенко Е.Ю., Жарикова Н.В., и др. Штаммы-деструкторы хлорфеноксикислот гамма – подкласса протеобактерий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 5-2. С. 194-195.
3. Congeevaram S., Dhanarani S., Park J., et al. Biosorption of chromium and nickel by heavy metal resistant fungal and bacterial isolates. // J. Hazar. Mater. 2007. V. 146. № 1-2. P. 270-277. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.12.017
4. Hussein H., Ibrahim S.F., Kandeel K., Moawad H. Biosorption of heavy metals from waste water using *Pseudomonas* sp. // Electron. J. Biotechnol. 2004. V. 7. № 1. DOI: 10.2225/vol7-issue1-fulltext-2
5. Shamim S. Biosorption of Heavy Metals. Biosorption. 2018. DOI: 10.5772/intechopen.72099
6. Zharikova N.V., Iasakov T.R., Zhurenko E.I., et al. Plasmids of the chlorophenoxyacetic acid degradation of bacteria of the genus *Raoultella* // Appl. Biochem. and Microbiol. 2021. V. 57. № 3. P 335-343. DOI: 10.1134/S0003683821030157

#### Цитировать как

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 EDN: BIYONR

#### Cited as

Korobov V.V., Zharikova N.V., Zhurenko E.I. Possibility of using bacteria degrading chlorophenoxy acids to biosorb heavy metal ions from aqueous solutions. *Ekobiotek.* 2023, V. 6 (4). P. 236-240. DOI: 10.31163/2618-964X-2023-6-4-236-240 EDN: BIYONR (In Rus.)