

# ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОДЕРЖАНИЯ КАДМИЯ В ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ КОРРЕКЦИИ ПРОБИОТИЧЕСКИМИ ПРЕПАРАТАМИ

**Е.В. Сальникова**

к.х.н., доцент, зав. кафедрой химии, Оренбургский государственный университет  
E-mail: salnikova\_ev@mail.ru

**А.Н. Сизенцов**

к.б.н., доцент, кафедра биохимии и микробиологии, Оренбургский государственный университет  
E-mail: asizen@mail.ru

**О.В. Кван**

к.б.н., науч. сотрудник, Оренбургский государственный университет  
E-mail: kwan111@yandex.ru

**В.И. Сальникова**

студентка, геолого-географический факультет, Оренбургский государственный университет  
E-mail: svi\_1997@mail.ru

**Я.А. Сизенцов**

студент, химико-биологический факультет, Оренбургский государственный университет  
E-mail: fox98765fox@mail.ru

Представлены данные по оценке содержания кадмия в воде и почве различных районов Оренбургской области. Рассмотрены перспективы использования микроорганизмов рода *Bacillus* для коррекции содержания кадмия в различных экологических системах.

**Ключевые слова:** кадмий, вода, почва, аккумуляция, *Bacillus*.

**Для цитирования:** Сальникова Е.В., Сизенцов А.Н., Кван О.В., Сальникова В.И., Сизенцов Я.А. Эколого-геохимические характеристики содержания кадмия в Оренбургской области и возможность их коррекции пробиотическими препаратами. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2018;21(7):53–57. <https://doi.org/10.29296/25877313-2018-07-09>

Экосистема является основной функциональной единицей биосферы. Она включает в себя различные виды животных, растений и микроорганизмов, тесно взаимодействующих друг с другом и с окружающей средой, из чего следует, что вся совокупность может сохраняться неопределенно долгое время.

Центральное место в экосистеме занимают биогеохимические циклы химических элементов, которые объединяют все ее блоки в единое целое в результате биогенной миграции элементов [1]. Микроэлементы поступают в растения, главным образом, из почвы, а также воды и воздуха, а в организм человека – алиментарным путем, с водой и пищей животного и растительного происхождения [2]. Для оптимального функционирования организма одним из основных и жизненно важных условий является стабильность элементного состава. Любые отклонения референтных значений химических элементов, возникающих вследствие воздействия климатогеографических и экологических факторов, могут приво-

дить к развитию различных патологических нарушений в живом организме [3–5].

Химические элементы активно взаимодействуют между собой по типу синергизма и антагонизма. Например, антагонистами меди являются кадмий, цинк и свинец [6]. В рудах с высоким содержанием цинка, меди, свинца и серебра присутствует кадмий, как следствие, он содержится в воздухе, воде и пищевых продуктах [6]. Токсичный элемент кадмий обладает канцерогенными свойствами и антитиреоидным действием [7].

Цель исследования – изучить эколого-геохимическую характеристику содержания кадмия в экосистеме Оренбургской области и возможность коррекции его уровня пробиотическими препаратами.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования использовали образцы воды и почвы из 35 административных районов Оренбургской области, а также шес-

ти пробиотических штаммов бактерий рода *Bacillus*: Ветом 1.1 (*B. subtilis* 10641), Споробактерин (*B. subtilis* 534), Ветом 2 (*B. licheniformis* 7038), Ветом 3 (*B. amyloliquefaciens* 10642), Ветом 4 (*B. amyloliquefaciens* 10643), Бактисубтил (*B. cereus* IP 5832). Выбор микроорганизмов обусловлен тем, что данные пробиотические штаммы являются представителями транзитной микрофлоры, их естественной средой обитания является почва. Это позволит не только оценить перспективы их использования на живой модели, но и может охарактеризовать их участие в биоремедиации окружающей среды при загрязнении тяжелыми металлами, в частности кадмием. В качестве токсиканта для микроорганизмов использовались соли кадмия с различным анионным компонентом, обязательным условием выбора солей являлся высокий уровень их диссоциации.

При оценке содержания кадмия в воде объектом исследования служили подземные воды из 35 административных районов Оренбургской области ( $n = 525$ ). Отбор и подготовку проб подземных вод осуществляли согласно ГОСТ Р 51593–2000 «Вода питьевая. Отбор проб». Отобранную пробу консервировали и хранили согласно установленным требованиям ГОСТ Р 51592.

Отбор проб почвы осуществляли в соответствии с требованиями по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения (ФГНУ «Росинформагротех», 2003). Данные сопоставляли с предельно допустимой концентрацией (ПДК) (ГН 2.1.7.2041–06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве»).

Исследования по определению кадмия в объектах окружающей среды проводили по стандартизи-

рованным методикам в аккредитованной лаборатории испытательного центра ФГБНУ «Всероссийский НИИ мясного скотоводства» (аттестат аккредитации И.Л. ПРООСРУ 000121 ПФ 59, г. Оренбург) методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии.

Для оценки биотоксичности катионов кадмия использовали метод агаровых лунок, позволяющий визуально и качественно оценить влияние на рост исследуемых микроорганизмов тяжелых металлов [8].

Оценку влияния солей тяжелых металлов на рост микроорганизмов осуществляли колориметрическим методом путем замера оптической плотности суспензии микроорганизмов в жидкой питательной среде с интервалом 3 ч до получения трех близких значений, которые свидетельствовали о наступлении стационарной фазы роста микроорганизмов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали, что в Акбулакском, Октябрьском, Оренбургском и Саракташском районах (Центральное Оренбуржье) концентрация кадмия в подземных водах колеблется от 0,002 до 0,004 мг/л, что выше ПДК в 2 и 4 раза соответственно. Наблюдается достоверное снижение кадмия на 40% ( $p \leq 0,001$ ) в подземных водах Восточного Оренбуржья, по сравнению с Западной и Центральной зонами. В подземных водах Тоцкого района (Западное Оренбуржье) обнаружены повышенные концентрации кадмия. В образцах воды остальных исследованных районов области кадмия не обнаружено. Содержание кадмия в почвах Западной и Центральной зон составляет 0,104 и 0,12 мг/кг соответственно, а в Восточной – 0,07 мг/кг (табл. 1).

**Таблица 1. Содержание кадмия (мг/кг) в подземных водах и почве Оренбургской области**

Показатель	Западное Оренбуржье		Центральное Оренбуржье		Восточное Оренбуржье	
	Вода	Почва	Вода	Почва	Вода	Почва
Среднее	0,001	0,104	0,002	0,12	0,0006	0,07
Стандартное отклонение	0,00178	0,04	0,00183	0,174	0,00068	0,056
Медиана	0,0008	0,09	0,001	0,07	0,0004	0,06
25 центиль	0,00061	0,064	0,00069	0,038	0,0002	0,031
75 центиль	0,0054	0,173	0,0051	0,52	0,0013	0,062
Минимум	0	0,05	0	0,008	0	0,008
Максимум	0,008	0,23	0,008	0,81	0,002	0,22

П р и м е ч а н и е : достоверность, почва: Западное-Центральное –  $p < 0,25$ , Центральное-Восточное –  $p < 0,01$ ; Западное-Восточное –  $p < 0,01$ ; вода: Западное-Центральное –  $p < 0,1$ ; Центральное-Восточное –  $p < 0,01$ ; Западное-Восточное –  $p < 0,01$ ;

Для тяжёлых металлов почва является ёмким акцептором. Сорбция элементов основана на их взаимодействии с почвенным гумусом с образованием малодиссоциируемых соединений, что в свою очередь приводит к их аккумуляции в почве. Под воздействием различных факторов происходит постоянная миграция попадающих в почву веществ и перенос их на большие расстояния.

На следующем этапе исследования определяли биотоксические концентрации солей кадмия с различным анионным компонентом на рост популяции исследуемых штаммов микроорганизмов. Было установлено, что избыточное содержание кадмия не оказывает выраженного бактерицидного эффекта на исследуемые штаммы, однако по мере снижения концентрации регистрируется выраженное ингибирующее действие катионов на рост популяции. Экспериментально установлено,

что наименее резистентным штаммом является *B. subtilis* 534, а наиболее выраженным ингибирующим действием обладает хлорид кадмия. Наиболее резистентным штаммом в отношении ацетата и сульфата кадмия является *B. amyloliquefaciens* 10642. В табл. 2 приведены данные по оценке влияния катионов кадмия на рост популяции исследуемых микроорганизмов.

Представленные данные свидетельствуют о токсическом действии катионов солей кадмия с различным анионным компонентом в отношении исследуемых микроорганизмов, при этом наиболее выраженным ингибирующим действием обладает  $CdCl_2$ , у которого диаметр зон подавления роста микроорганизмов превысил значения  $Cd(CH_3COO)_2$  и  $CdSO_4$  для *B. licheniformis* 7048 на 62,1 и 39,9%, *B. cereus* 5832 – на 12,5 и 32,5%, *B. subtilis* 10641 – на 7,0 и 19,0%, соответственно.

**Таблица 2. Влияние солей кадмия на рост бактерий рода *Bacillus***

Микроорганизм	Концентрация исследуемой соли				
	1 моль	0,5 моль	0,25 моль	0,125 моль	0,063 моль
$Cd(CH_3COO)_2$					
<i>B. licheniformis</i> 7048	18,3±1,67	14,7±2,33	10,0±0,00	–	–
<i>B. cereus</i> 5832	35,0±0,00	35,0±0,00	30,0±1,00	30,0±0,00	25,0±2,00
<i>B. subtilis</i> 534	25,0±0,00	21,0±2,08	12,7±0,67	8,0±1,00	5,8±1,33
<i>B. subtilis</i> 10641	30,7±0,67	30,0±0,00	21,7±1,67	26,7±2,33	14,0±3,02
<i>B. amyloliquefaciens</i> 10642	25,7±2,33	23,3±1,82	19,3±1,36	15,0±2,66	25,0±2,88
<i>B. amyloliquefaciens</i> 10643	24,0±1,00	19,0±1,00	10,0±0,00	8,3±1,67	–
$CdCl_2$					
<i>B. licheniformis</i> 7048	48,3±1,67	48,3±1,67	20,7±1,21	11,0±3,67	23,3±1,67
<i>B. cereus</i> 5832	40,0±0,00	33,0±0,00	30,0±0,00	26,7±1,67	22,7±1,45
<i>B. subtilis</i> 534	20,0±0,00	15,0±0,00	10,0±1,00	5,3±1,33	–
<i>B. subtilis</i> 10641	33,0±1,66	30,0±0,00	28,3±1,01	22,3±1,45	21,7±1,67
<i>B. amyloliquefaciens</i> 10642	26,0±1,00	21,3±0,67	13,3±0,67	9,3±0,88	6,3±0,33
<i>B. amyloliquefaciens</i> 10643	20,0±0,00	15,0±0,00	10,0±1,00	6,0±1,00	–
$CdSO_4$					
<i>B. licheniformis</i> 7048	29,0±0,58	27,0±1,03	18,3±3,38	10,7±0,33	6,7±0,33
<i>B. cereus</i> 5832	27,0±1,53	23,3±0,67	13,7±0,33	10,0±0,00	–
<i>B. subtilis</i> 534	28,3±0,88	23,3±0,88	15,0±0,58	10,7±0,67	7,7±2,40
<i>B. subtilis</i> 10641	26,7±0,88	22,7±0,67	11,7±0,88	9,3±0,67	6,0±1,46
<i>B. amyloliquefaciens</i> 10642	24,7±0,33	27,7±3,33	15,3±1,67	13,3±3,33	10,3±2,91
<i>B. amyloliquefaciens</i> 10643	28,6±0,88	22,7±1,20	13,7±0,33	10,3±0,33	6,0±0,00

В ходе проведения исследования по оценке влияния катионов кадмия на рост исследуемых микроорганизмов было установлено, что у всех изучаемых штаммов регистрируется близкая по значениям картина динамики роста. Однако следует отметить, что наибольшую ксенобиотическую устойчивость проявляют бактерии *B. amyloliquefaciens*, входящие в состав препаратов Ветом 3 и Ветом 4, что подтверждает данные, полученные при оценке влияния солей кадмия на рост бактерий рода методом агаровых лунок (табл. 2).

Исследование аккумулирующей способности пробиотическими штаммами катионов кадмия выявило отсутствие закономерности между накоплением металла и его анионным компонентом. Однако следует отметить, что процент его накопления имел очень низкие значения (менее 10%) для всех исследуемых микроорганизмов, что, вероятно, коррелирует с методом агаровых лунок. Низкий процент накопления можно связать с тем, что при снижении концентрации катионов кадмия у всех исследуемых микроорганизмов отмечался ярко выраженный бактерицидный эффект. Этот факт, в свою очередь, может обуславливать сорбцию данного металла только на ранних этапах инкубирования. При максимальных значениях концентрации катионов кадмия и по мере ее снижения, скорее всего, отмечается наличие бактериостатического или бактерицидного эффекта.

## ВЫВОДЫ

1. Установлено, что в подземных водах Западного и Центрального Оренбуржья наблюдаются превышения по токсичному микроэлементу кадмию. Содержание кадмия в почвах районов,

расположенных в Центральном Оренбуржье больше, чем в Восточном и Западном – в 1,7 и 1,4 раза соответственно.

2. Выявлено, что уровень токсичности кадмия в отношении микроорганизмов напрямую связан с уровнем диссоциации его солей и не зависит от анионного компонента.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Замана С.П. Эколого-биогеохимические принципы оценки и коррекции элементного состава системы почва – растения – животные. М. 2009. 174 с.
2. Абдурахманов Г.М., Зайцев И.В. Экологические особенности содержания микроэлементов в организме животных и человека. М.: Наука. 2004. 278 с.
3. Скальный А.В. Эколого-физиологическое обоснование эффективности использования макро- и микроэлементов при нарушениях гомеостаза у обследуемых из различных климато-географических регионов: Автореф. дисс. ... докт. мед. наук. М. 2000. 352 с.
4. Кожин А.А., Владимирский Б.М. Микроэлементозы в патологии человека, экологической этиологии. Обзор литературы // Экология человека. 2013. № 9. С. 56–63.
5. Агаджанян Н.А., Скальный А.В. Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека. М.: Изд-во КМК. 2001. 83 с.
6. Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. СПб.: Наука. 2008. 544 с.
7. Bernhoft R.A. Cadmium toxicity and treatment // The Scientific World Journal. 2013. Режим доступа: <https://dx.doi.org/10.1155/2013/394652>.
8. Sizentsov A.N., Kvan O.V., Miroshnikova E.P., Gavrish I.A., Serdaeva V.A., Bykov A.V. Assessment of biotoxicity of Cu nanoparticles with respect to probiotic strains of microorganisms and representatives of the normal flora of the intestine of broiler chickens // Environmental Science and Pollution Research. 2018. Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1761-4>.

Поступила 4 мая 2018 г.

# ECOLOGICAL-GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE CONTENT OF CADMIUM IN THE ORENBURG REGION AND THE POSSIBILITY OF THEIR CORRECTION BY PROBIOTIC PREPARATIONS

© Authors, 2018

**E.V. Salnikova**

Ph.D. (Chem.), Associate Professor, Head of the Department of Chemistry, State University Orenburg

E-mail: salnikova\_ev@mail.ru

**A.N. Sizentsov**

Ph.D. (Biol.), Associate Professor, State University Orenburg

E-mail: asizen@mail.ru

**O.V. Kwan**

Ph.D. (Biol.), Research Scientist, State University Orenburg

E-mail: kwan111@yandex.ru

**V.I. Salnikova**

Student, Geological and Geographical Faculty, State University Orenburg

E-mail: svi\_1997@mail.ru

**Ya.A. Sizentsov**

Student, Chemical and Biological Faculty, State University Orenburg

E-mail: fox98765fox@mail.ru

Every year, millions of toxic substances and individual elements are thrown into the environment by the enterprises of industry and agriculture: cadmium, lead, mercury, etc. Adverse changes negatively affect the state of human health. The Orenburg region is an unfavorable subject of the Volga Federal District on the disbalance of chemical elements. The toxic element of cadmium is presented in areas with a high content of zinc, copper, lead, etc. And as a result of migration it is found in air, water and food products.

The article presents experimental data on the cadmium content in groundwater and soils in the Orenburg region. It has been revealed that in the underground waters of the Western and Central Orenburzhye there are exceedances for toxic microelement cadmium. The content of cadmium in the soils of the districts located in the Western Orenburg region is higher than in the Eastern and Central regions – 1.7 ( $p < 0.001$ ) and 1.4 ( $p < 0.001$ ), respectively.

It has been established that the excess cadmium content does not have a bactericidal effect on the microorganisms under investigation. It was revealed that *B. subtilis* 534 is the most sensitive strain, with cadmium chloride having the most pronounced bactericidal effect.

The most pronounced toxic effect is observed in  $CdCl_2$  values of growth inhibition zones, which exceeded the  $Cd(CH_3COO)_2$  and  $CdSO_4$  values for *B. licheniformis* 7048 by 62.1% and 39.9%, *B. cereus* 5832 by 12.5% and 32, 5%, *B. subtilis* 10641 7.0% and 19.0%, respectively.

**Key words:** cadmium, water, soil, accumulation, Bacillus.

**For citation:** Salnikova E.V., Sizentsov A.N., Kwan O.V., Salnikova, V.I., Sizentsov Ya.A. Ecological-geochemical characteristics of the content of cadmium in the Orenburg region and the possibility of their correction by probiotic preparations. Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry. 2018;21(7):53–57. <https://doi.org/10.29296/25877313-2018-07-09>

**REFERENCES**

1. Zamana S.P. Ehkologo-biogeohimicheskie principy ocenki i korrekcii ehlementnogo sostava sistemy pochva – rasteniya – zhivotnye. M. 2009. 174 s.
2. Abdurahmanov G.M., Zajcev I.V. Ehkologicheskie osobennosti sodержaniya mikroehlementov v organizme zhivotnyh i cheloveka. M.: Nauka. 2004. 278 s.
3. Skalny A.V. Ehkologo-fiziologicheskoe obosnovanie effektivnosti ispol'zovaniya makro- i mikroehlementov pri narusheniyah gomeostaza u obsleduemym iz razlichnyh klimato-geograficheskikh regionov: Avtoref. diss. ... dokt. med. nauk. M. 2000. 352 s.
4. Kozhin A.A., Vladimirovskij B.M. Mikroehlementozy v patologii cheloveka, ehkologicheskoy ehtiologii. Obzor literatury // Ehkologiya cheloveka. 2013. № 9. S. 56–63.
5. Agadzhanyan N.A., Skal'nyj A.V. Himicheskie ehlementy v srede obitaniya i ehkologicheskij portret cheloveka. M.: Izd-vo KMK. 2001. 83 s.
6. Oberlis D., Harland B., Skalny A. Biologicheskaya rol' makro- i mikroehlementov u cheloveka i zhivotnyh. SPb: Nauka. 2008. 544 s.
7. Bernhoft R.A. Cadmium toxicity and treatment // The Scientific World Journal. 2013. Rezhim dostupa: <https://dx.doi.org/10.1155/2013/394652>.
8. Sizentsov A.N., Kvan O.V., Miroshnikova E.P., Gavrish I.A., Serdaeva V.A., Bykov A.V. Assessment of biotoxicity of Cu nanoparticles with respect to probiotic strains of microorganisms and representatives of the normal flora of the intestine of broiler chickens // Environmental Science and Pollution Research. 2018. Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1761-4>.



**Лекарственные препараты, разработанные ВИЛАР**

**Элеутерококк** (сухой экстракт, таблетки, покрытые оболочкой) (рег. № № 92/210/3; 92/210/7) – обещетонизирующее средство, получаемое из корневищ и корней элеутерококка колючего (*Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim.).

**Сабельник болотный** (*Comarum palustre*) (экстракт сухой, таблетки, гель) – оказывает противовоспалительное, анальгезирующие действие. Применяется в комплексной терапии воспалительных и дегенеративных заболеваний опорно-двигательного аппарата.

**Флакозид** (таблетки) (рег. №№ 90/248/3; 90/248/7) – противовирусное и антигепатотоксическое средство, получаемое из листьев бархата амурского и бархата Лавала (*Phellodéndron amurénse* и *Phellodendron amurenensis* var. Lavelle Sprague). Применяется для лечения вирусных гепатитов.

**Эвкалимин** (раствор, суппозитории для детей и взрослых) (рег. №№ 90/249/2; 91/194/13; 91/194/12) – антибактериальное и противовоспалительное средство, получаемое из эвкалипта прутовидного (*Eucalyptus viminalis* Labill.).

Тел. контакта: 8(495)388-55-09; 8(495)388-61-09; 8(495)712-10-45

Факс: 8(495)712-09-18;

e-mail: vilarnii.ru; www.vilarnii.ru