

Естественные науки. 2022. № 2 (7). С. 37–45.
Yestestvennyye nauki = Natural Sciences. 2022; no. 2(7):37–45 (In Russ.)

Научная статья
УДК 130.2.81-22
doi 10.54398/1818507X_2022_2_37

**ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ ПОЧВ,
ЗАГРЯЗНЁННЫХ ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

Хужжиев Содик Олтиевич^{1✉}, *Бахрамов Иномжон Закирович*²,
*Сайфуллаев Аслбек Фаходович*³

¹⁻³Навоийский государственный педагогический институт,
Навои, Узбекистан
¹sodiq.2014@mail.ru✉

Аннотация. В данной статье представлены результаты научных исследований по фиторемедиации, в том числе исследовательская работа с целью изучения биотехнологических свойств растений, произрастающих на территории Центральных Кызылкумов. Практическая реализация результатов данных исследований важна для уменьшения избыточной миграции радиоактивных металлов в биосфере и предотвращения существующих проблем с возникающими современными экологическими проблемами.

Ключевые слова: промышленная зона, фитоэкстракция, биоремедиация, тяжёлые металлы, интродуцированные растения, ксенобиотики, гипераккумуляция, фиторемедиация

Для цитирования: Хужжиев С. О., Бахрамов И. З., Сайфуллаев А. Ф. Фиторемедиация почв, загрязнённых тяжёлыми металлами // *Естественные науки*. 2022. № 2 (7). С. 37–45. https://doi.org/10.54398/1818507X_2022_2_37.

**PHYTOREMEDIATION OF SOILS CONTAMINATED
WITH HEAVY METALS**

Huzhzhiev Sodik Oltievich^{1✉}, *Bakhramov Inomjon Zakirovich*²,
*Sayfullaev Aslbek Fakhodovich*³

Navoi State Pedagogical Institute, Navoi, Uzbekistan
¹sodiq.2014@mail.ru✉

Abstract. This article presents the results of scientific research on phytoremediation, including research work to study the biotechnological properties of plants growing on the territory of the Central Kyzylkum. The practical implementation of the results of these studies is important to reduce the excess migration of radioactive metals in the biosphere and prevent existing problems with emerging modern environmental problems.

Keywords: Industrial zone, phytoextraction, bioremediation, heavy metals, introduced plants, xenobiotics, hyperaccumulation, phytoremediation

For citation: Huzhzhiev S. O., Bakhramov I. Z., Sayfullaev A. F. Phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. *Yestestvennyye nauki = Natural Sciences*. 2022; no. 2(7):37–45. https://doi.org/10.54398/1818507X_2022_2_37.

Введение. В условиях бурного экономического развития увеличение численности населения страны и удовлетворение повышающихся в этой связи потребностей в природных ресурсах может быть только при следовании принципам «зелёной экономики», сохранении таких основных принципов, как экологическая защита страны, обеспечение долговременной урожайности земли, сохранения биологического разнообразия и экосистем.

Принимая во внимание экологическую безопасность актуальными вопросам считаются совершенствование системы переработки отходов, обеспечение экологической безопасности от заражения химическими, радиоактивными веществами.

Территория Центральных Кизилкумов включает в себя в основном пустынные и адырные зоны при предгорьях. Эта территория покрыта разнообразной растительностью и обладает своеобразным животным миром. Кроме того, особое место занимает имеющиеся на территории Центральных Кизилкумов богатые залежи драгоценных металлов и других полезных ископаемых, имеющих важное стратегическое значение для нашей страны.

С 1990 г. 692,6 тыс. га земли по разным причинам были выведены из пользования. По некоторым ингредиентам относительно фоновым показателям загрязнения почвы были зафиксированы в Сырдарьинской, Сурхандарьинской, Навоийской и Ташкентской областях.

Отсутствие технологий по уменьшению выхода промышленных отходов, их переработки или повторного использования создаёт условия для скопления отходов.

Исследования по использованию видов растений в очищении состава почвы от загрязнения различного вида вредных веществ и тяжёлых металлов долгие годы проводятся учёными мира и результаты данного исследования внедряются в практику.

Заражение природной среды тяжёлыми металлами относительно органического загрязнения имеют высокую степень опасности, так как тяжёлые металлы не расщепляются и переходят из одной формы в другую. Они переходят в состав солей, оксидов и металлоорганических соединений. Одним из своеобразных свойств тяжёлых металлов является их антагонистический и синергетический характер. Иначе говоря нахождение одного тяжёлого металла в почве оказывает воздействие на другой металл. Например при минерализации почвы Mn оказывает ингибированное воздействие на Cd, Cu и Zn, а также элементы никель и кадмий конкурируют в мембранах одного растения. И наоборот, имеющиеся в некоторых растениях элементы меди повышают токсические свойства цинка. Из этого следует, что взаимодействие тяжёлых металлов очень сложное. Разнообразные

проявления одного тяжёлого металла также может оказывать воздействие друг на друга.

Большое значение имеет сокращение в биосфере чрезмерной миграции экотоксикантов, то есть радиоактивных элементов, а также предотвращение наряду с существующими проблемами современных экологических проблем. На сегодняшний день при изучении тяжёлых металлов и металлоидов, обнаруженных в почве, были определены следующие основные задачи:

- 1) изучение металлов, обнаруженных в сельскохозяйственных почвах;
- 2) использование в качестве удобрений для растений биологических возможностей металлов и фосфора, обнаруженных в грязи водоёмов;
- 3) химическая природа металлов в составе почвы.

Центральный Кызылкум — промышленный район, богатый цветными и редкоземельными металлами. Изучение биогеотехнологических характеристик растений в данном регионе имеет большое значение для биоремедиации промышленных зон.

Наше исследование проводится в рамках изучения биотехнологических свойств растений, распространённых на освобождённые земли промышленных предприятий Навоийского горно-металлургического комбината, расположенные на территории Центральных Кызылкумов и имеющие важное стратегическое значение для экономики нашей страны, исследовательские и мониторинговые работы на этой территории ведутся с марта 2017 г.

Очередная наблюдательная и исследовательская работа с целью изучения биотехнологических свойств растений, произрастающих на территории Центральных Кызылкумов, была проведена в сентябре-октябре 2018 г. на ландшафте с координаты 40,031' северной широты и 60,000 восточной долготы. Считается, что такие виды растений, как *C. physodes*, *K. prostrata* и *T. lechmanniana*, которые служили объектом исследования, обладают высокой способностью поглощать радиоактивные элементы. Практическая реализация результатов наших исследований важна для уменьшения избыточной миграции радиоактивных металлов в биосфере и предотвращения существующих проблем с возникающими современными экологическими проблемами.

Цель и задачи исследования: с помощью местных флоры в территории Центральных Кызылкумов исследовать возможности фиторемедиации техногенно загрязнённых почв, а также по полученным результатам исследования эффективное использование их на практике.

Задачи исследования: проанализировать химический состав растений в опытном и контрольном вариантах и образцов почв, изучить биоэкологические особенности естественной флоры территории Центральных Кызылкумов, исследовать биогеотехнологические и биоаккумуляционные возможности составов видов местной флоры, устойчивых к тяжёлым металлам.

Условия исследования. Исследован ряд микробиологических способов по воздействию на естественную окружающую среду химических и

металлургических производственных предприятий и их экологическое обезвреживание. Исследования по изучению при помощи комплекса местных растений биогеотехнологических способностей и очищение от ксенобиотиков были проведены в условиях лабораторных и природнополевых экспериментальных опытах.

Материалы и методы исследования: материалом исследований служили растительный покров и загрязнённые почвы Центральных Кызылкумов. Методам исследования были лабораторные и полевые опыты, фенологические, анатомические, микробиологические, качественные и количественный анализ — методы атомно-абсорбционного, рентгенофлуоресцентного и нейтронно-активационного анализа.

Результаты исследования. В Центральных Кызылкумов осадки (дождь, снег) составляют 21,4–34,7 %, из них 3–5 мм осадки составляют 12,7–23,7 %, 5–10 мм — 8,5–14,5 %, а 20 мм — 2 %. В январе в Центральных Кызылумах средняя температура составляет минус 7...минус 11 °С, в июле средняя температура плюс 28...плюс 30 °С, в зимнее время минимальная температура воздуха может упасть до минус 30...минус 33 °С. Абсолютная температура составляет более 46 °С, в основном в апреле-мае самая высокая влажность. В восточной части ливневые дожди. На этой территории развитие растительности связано с годовым выпадением осадков (дождей) и периодическим изменением влажности, а также кратковременными оптимальными условиями, основная часть биоценозов характеризуется образованием эфемерных и эфемероидных видов.

В течение года устойчивы северные ветра (28–44 %) — в среднем 4–7 м/с. Северо-восточные ветра также часто дуют. Сильные ветра достигают скорости 20–25 м/с, в основном дуют весной и летом. Условий для возникновения почвы в зыбучих песках под воздействием ветров практически условий нет. Это относительно процессов почвообразования на промышленных территориях приводит к приоритету ровня деградации. В результате движения почва из заражающих источников распространяется на соответствующие просторы и наблюдается их заражение ксенобиотиками.

Опыты исследования проводятся следующим способом и порядке. Сначала изучается состав растительного покрова и элемента почвы исследуемых объектов. По изучению возможностей усвоения тяжёлых металлов в составе почвы растений поставлены полевые опыты в юго-восточном направлении (дальность 1 км) от территории отходов карьера Мурунтау. Площадь опытов состоит из типичной почвы пустынного песка механический состав состоит из примеси гравия и песка. Количество гумуса верхнего 30-сантиметрового слоя почвы составляет 0,4 %, сплошного азота и сплошного фосфора — 0,10 % и общего калия — 1,9 %. Количество действующей формы питательных веществ следующая: N – NO₃ — 7 мг/кг, N – NH₄ — 9 мг/кг, P – P₂O₅ — 11,1 мг/кг, K – K₂O — 210 мг/кг, pH 7,1. Вместимость поглощения верхних слоёв почвы составляет 14–19 мг/экв., что связано с механическим составом почвы и количеством гумуса. Установлено,

что почва средней солёности, в водном составе много ионов сульфата, ионов хлора, а из катионов большая доля принадлежит катионам кальция.

На исследуемых территориях выбраны виды местных растений, хорошо усваивающих тяжёлые металлы. В целях изучения пределов выносливости данных видов относительно тяжёлых металлов проведены лабораторные опыты с образцами почв, сохранивших различную концентрацию солей тяжёлых металлов.

В лабораторных условиях в деревянных сосудах (ящиках) ёмкостью 0,125 м³ для выращивания растений в течение марта-июля этого года поставлены лабораторные опыты. Здесь деревянные сосуды были заполнены образцами естественной почвы произрастания растений. На каждый опытный вариант были посеяны растения с высокими свойствами фиторемедиации. Опыты проводились по определению выносливости пяти видов растений к относительно широко распространённым в составе почвы соединениям элементов Mo, Cr, Ni, Co, Zn и As.

В целях определения толерантности и максимальной степени усвоения растениями относительно тяжёлых металлов вначале опыты проводились в лаборатории, затем в полевых условиях.

В лабораторных условиях опытные варианты готовились в следующем порядке (табл. 1).

Таблица 1

Количество тяжёлых металлов в составе почвы

Вариант/обз., мкг/г	Элемент/обз.					
	Mo	Cr	Ni	Co	Zn	As
Контроль	5,2	45	32	11	89	39,9
II вариант	15	65	45	25	95	50
III вариант	20	95	65	45	115	70
IV вариант	25	120	90	60	130	90
V вариант (обогащены дополнительными минеральными удобрениями)	5,2	45	32	11	89	39,9

В V варианте опыта, не внося дополнительно тяжёлые металлы для растений в качестве дополнительной подпитки, вносились органические и минеральные удобрения. В других вариантах опыта дополнительные питательные вещества не применялись.

Для опытов образцы почвы брались вокруг промышленных зон города Заравшан. Для подготовки различных образцов почва была поделена на пять частей. Первая часть стала контрольным вариантом, в неё не привносились никакие дополнения. Во 2-ом, 3-ем и 4-ом вариантах применялись нитраты Mo, Cr, Ni, Co, Zn и As а также соли сульфатов, для каждого варианта, соответственно, получались вышеприведённые концентрации.

Для опытов в теплице и опытной площадке факультета Естественных наук Навоийского государственного педагогического института все отобранные образцы были высажены вперемежку.

Опыты проводились вплоть до конца июля и взятые образцы растений, а также почв были проанализированы относительно тяжёлых металлов нейтронно-активационным способом. Изучив количество тяжёлых металлов и радиоактивных веществ в почвах и растениях Центральных Кизилкумов, проведён сопоставительный анализ. Приведены научные анализы по степени выносливости растений относительно повышенной концентрации тяжёлых металлов в почвенной среде. Проведён анализ изучаемых территорий в качестве объекта исследования по вредному воздействию на живые организмы элементов, находящихся в составе почвы. По результатам анализов установлено, что в составе почвы на изучаемых территориях количество тяжёлых металлов и вредных элементов различно.

Первые образцы почвы были взяты в радиусе 5 км территории скопления отходов карьера Мурунтау (табл. 2).

Таблица 2

Состав почвы территории скопления отходов карьера Мурунтау

Элемент, мкг/г	Расстояние, км								
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Mn	1020	960	530	330	330	330	330	320	320
Mo	5,2	5,2	4,8	3,3	3,3	2,3	3,3	2,3	2,3
U	4,1	4,1	4	4	3,7	3	2,4	1,7	0,29
Au	0,0086	0,0086	0,0029	0,0029	0,0027	0,0027	0,0027	0,0027	0,0027
Cr	45	44	41	41	40	40	39	37	37
Sr	310	310	310	250	250	240	220	110	110
Cs	4,9	4,8	4,3	3,8	3,8	3,6	1,6	0,89	0,89
Ni	32	28	14	9	4	4	4	3,9	3,1
Zn	89	87	78	76	55	43	31	31	31
Co	11	11	10,5	9	8,3	7,9	7	5,1	3
Fe	26000	23900	20700	20700	20700	19600	19600	19600	17800
Sb	3	2,3	1,7	1,2	1,2	1,2	0,9	0,71	0,13
As	39,9	37	31,8	22	11	6	2,1	2,1	1,3

Из результатов анализов становится известно, что взятые в качестве воздействующих источников на окружающую среду образцов почвы с территории скопления отходов карьера Мурунтау по мере нашего удаления от источника количество тяжёлых металлов в составе почвы уменьшается. Количество большинства элементов в составе почвы по мере удаления от источника на 4–5 км уменьшается, затем в частях сохраняется практически без изменений. Самый высокий показатель распространения в окружающей среде от источников тяжёлых металлов для территории скопления отходов карьера Мурунтау вместе с санитарной зоной составляет радиус в 5 км. Установлено что на расстоянии 5 км от источника степень заражения тяжёлыми металлами уменьшалась и через 5 км равнялась общему фону.

В исследовательской работе исследовано более 40 видов растений и составные элементы почвы их произрастания. Для установления в составе растений тяжёлых металлов была собрана биомасса в основном фазы цветения, то есть периода их высокой физиологической активности.

В исследовании биогеотехнологических особенностей изученных растений были отобраны доминантные виды этой территории. В ходе исследования были изучены показатели усвоения тяжёлых металлов и радиоактивных элементов в составе почвы следующих видов растений (табл. 3).

Таблица 3

**Изученные биогеотехнологические возможности видов растений
в ходе проведённого исследования территории Центральных Кизилкумов**

<i>Haloxylon persicum</i> Regel	Белый саксаул
<i>Haloxylon aphyllum</i> (Minkw.) Iljin	Чёрный саксаул
<i>Artemisia diffusa</i>	Дикая полынь
<i>Artemisia turanica</i>	Туранская полынь
<i>Salsola arbuscular</i> Pall.	Белая древовидная солянка
<i>Atraphaxis spinosa</i> L.	Верблюжий астрагал
<i>Kochia prostrata</i> (L.) Schrad.	Бурьян
<i>Allium filidens</i>	Иптиш пиёз
<i>Alhagi pseudalhagi</i> (Bieb) Devs	Ложная колючка
<i>Anemone petiolulosa</i>	Қарғатуёқ пұфанак
<i>Carex pachystylis</i>	Черноцвет
<i>Gentiana olivieri</i>	Ербаҳо газакўт
<i>Poa bulbosa</i>	Қўнғирбош
<i>Merehdera robusta</i>	Йирик санграйкулоқ
<i>Peganum harmala</i>	Обычная гармала
<i>Ranunculus linegrilobus</i>	Заячья трава
<i>Iris songarica</i> Schrenk	Қурқасоч
<i>Haplophyllum bungei</i> Trautv.	Бунге тошбақатоли
<i>Tulipa lehmanniana</i> Merskl.	Жовкосин лола
<i>Astragalus campylotrichus</i>	Астрагал
<i>Geratocarpus utriculosus</i>	Халтали эбалак
<i>Diarthron vesiculosum</i> (Fisch. et Mey.) C. A. Mey.	Пуфакли келинсуपुरги
<i>Euphorbia inderiensis</i>	Молочай
<i>Eremopyrum bonaepartis</i>	Миртук бонапарта
<i>Girgensohnia oppositiflora</i> (Pall) Fenzel	Трёхкрылая гиргенсония
<i>Hypocoum parviflorum</i>	Горный базилик
<i>Koelpinia linearis</i>	Тонколистный вороний ноготь
<i>Meniocus linefolius</i>	Зиғирбарг яссимева
<i>Papaver pavoninum</i>	Мак
<i>Salsola sclerantha</i> C. A. Mey.	Сета шўрак
<i>Strigosella turkestanica</i>	Туркистанская хориспора нежная
<i>Ziziphora tenuior</i>	Нафис кийикўт
<i>Bromus danthoniae</i>	Ялтирбош, тарокбош
<i>Bromus tectovum</i>	Костёр Дартонии
<i>Consinia Evgeni</i>	Қушқўнмас
<i>Euphorbia sp.</i>	молочай
<i>Holosteum polygamum</i> C Koch.	Полигам
<i>Hypocoum parviflorum</i> Kar. et Kir.	Мелколистный горный базилик
<i>Halimiphyllum atriplicoides</i>	Олабута қўшбарг
<i>Peganum harmala</i> L.	Обыкновенная гармала

Выбранные для проведения исследования данные виды растений встречаются на всех территориях и по числу биоценоза широко распространены. Проявляется хорошее приспособление данных растений к условиям жизни и как объект исследования считаются благоприятными.

Выводы. Установлено, что в исследованных 5 видах (*K. prostrata* (L.) Schrad., *Carex pachystylis.*, *Poa bulbosa*, *Bromus danthoniae*, *B. tectovum*) имеются высокие биоготехнологические возможности, с ними были проведены полевые опыты. В полевых условиях и естественной среде были проведены комплексные опыты посеянных по схеме 20 × 5 × 1 растений *K. prostrata* (L.) Schrad., *Carex pachystylis.*, *Poa bulbosa*, *Bromus danthoniae*, *B. tectovum*.

Список литературы

1. Большаков, В. А. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах / В. А. Большаков // Почвоведение РАН. — 2002. — № 7. — С. 844–849.
2. Алексеев, Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю. В. Алексеев. — Ленинград : Агропромиздат, 1987. — 141 с.
3. Башкин, В. Н. Биоготехнологические и геоэкологические подходы для оценки комплексного экологического воздействия / В. Н. Башкин, А. С. Курбатова // Современные проблемы загрязнения почв : междунар. конф. — Москва, 2004. — С. 174–176.
4. Ковальчук, Л. А. Тяжелые металлы в окружающей среде. Среднего Урала и их влияние на организм / Л. А. Ковальчук, О. А. Стопкина, А. Э. Тарханова // Экология. — 2002. — № 5. — С. 358–361.
5. Arthur, E. L. Phytoremediation—an overview / E. L. Arthur, P. J. Rice // Critical Reviews in Plant Sciences. — 2005. — Vol. 24. — P. 109–122.
6. Водяницкий, Ю. Н. Об опасных тяжелых металлах/металлоидах в почвах / Ю. Н. Водяницкий. — Москва, 2011.
7. Андреева, И. В. Фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами / И. В. Андреева // Природообустройство. — 2009. — № 5. — С. 5–11.
8. Hooda P. S. A special issue on heavy metals in soils: editorial foreword / P. S. Hooda // Adv. Environ. Res. — 2003. — Vol. 8. — P. 1–3.
9. Санакулов, К. С. Научно-технические основы переработки отходов горно-металлургического производства / К. С. Санакулов. — Ташкент : Фан, 2009. — 432 с.
10. Bahramov, I. Z. Biotechnological Potentials of Plants Growing In Polluted Soils / I. Z. Bahramov // European Journal of Business & Social Sciences. — 2020. — Vol. 08, iss. 01.
11. Хужжиев, С. О. Биоготехнологическая значимость центральной кызылкумской флоры / С. О. Хужжиев, И. З. Бахрамов // URDU elektron xabarnoma. — 2019. — № 4. — P. 84–92.
12. Хужжиев, С. О. Биоготехнологические потенциалы растений произрастающих в загрязненных почвах / С. О. Хужжиев, И. З. Бахрамов // Gul.DU elektron xabarnoma. — 2020. — № 1. — P. 63–70.

References

1. Bolshakov, V. A. Mikroelementy i tyazhelye metally v pochvakh. *Pochvovedenie RAN* = *Soil science RAS*. 2002; no. 7:844–849.
2. Alekseev, Yu.V. Tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh. Leningrad: Agropromizdat, 1987;141 p.

3. Bashkin, V. N., Kurbatova, A. S. Biogeokhimicheskie i geoekologicheskie podhody dlya otsenki kompleksnogo ekologicheskogo vozdeystviya. *Sovremennyye problemy zagryazneniya pochv*. Moscow, 2004;174–176.
4. Kovalchuk, L. A., Stonkina, O. A., Tarhanova, A. Ye. Tyazhelye metally v okruzhayushchey srede Srednego Urala i ikh vliyanie na organizm. *Ekologiya = Ecology*. 2002; no. 5:358–361.
5. Arthur, E. L., Rice, P. J. Phytoremediation — an overview. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2005; vol. 24:109–122.
6. Vodyanitskiy, Yu. N. *Ob opasnykh tyazhelykh metallakh / metalloydakh v pochvakh*. Moscow, 2011.
7. Andreeva, I. V. Fitoremediatsiya pochv, zagryaznennykh tyazhelymi metallami. *Prirodoobustroystvo = Environmental management*. 2009; no. 5:5–11.
8. Hooda, P. S. A special issue on heavy metals in soils: editorial foreword. *Adv. Environ. Res*. 2003; vol. 8:1–3.
9. Sanakulov, K. S. *Nauchno-tekhnicheskie osnovy pererabotki othodov gorno-metallurgicheskogo proizvodstva*. Tashkent: Fan, 2009;432 p.
10. Bakhrarov, I. Z. biotechnological potentials of plants growing in polluted soils. *European Journal of Business & Social Sciences*. 2020; vol. 08, iss. 01:44–50.
11. Xujjiev, S. O., Bahramov, I. Z. Biogeotechnological significance of the central kyzylkum desert's flora. *URDU elektron xabarnoma*. 2019; no. 4:84–92.
12. Huzhzhiev, S. O., Bahramov, I. Z. Biogeotekhnologicheskie potentsialy rastenij proizrastajushhih v zagryaznennykh pochvakh. *Gul.DU elektron xabarnoma*. 2020; no. 1:63–70.

Информация об авторах

Хужжиев С. О. — доцент;
Бахрамов И. З. — преподаватель;
Сайфуллаев А. Ф. — преподаватель.

Information about the authors

Huzhzhiev S. O — Associate Professor;
Bakhrarov I. Z. — Lecturer;
Sayfullaev A. F. — Lecturer.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 16.05.2022; одобрена после рецензирования 19.05.2022; принята к публикации 23.05.2022.

The article was submitted 16.05.2022; approved after reviewing 19.05.2022; accepted for publication 23.05.2022.