

УДК 504.03

## ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

А. Д. БАЙБОТАЕВА, Г. Д. КЕНЖАЛИЕВА

Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова,  
г. Шымкент, Республика Казахстан

В. Н. БОСАК

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: [bosak1@tut.by](mailto:bosak1@tut.by)

(Поступила в редакцию 09.09.2019)

Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами является одной из основных экологических проблем на современном этапе развития общества. Накопление тяжелых металлов в биосфере ухудшает экологическую ситуацию и негативно сказывается на здоровье человека. В настоящее время основное загрязнение биосферы тяжелыми металлами происходит вследствие активной антропогенной деятельности в различных отраслях экономики (промышленность, энергетика, транспорт, сельское хозяйство).

Определенные недоработки при строительстве и эксплуатации промышленных предприятий Туркестанской области и города Шымкент привели к накоплению тяжелых металлов в почве. Анализ накопления тяжелых металлов в почвах Шымкента показал, что город относится к населенным пунктам с классом повышенного уровня загрязнения, что делает актуальной разработку мероприятий по мониторингу и очистке почв от тяжелых металлов.

Одним из направлений мониторинга почвенного загрязнения тяжелыми металлами является использования метода индикации с применением дождевых червей. Модельные исследования с различными концентрациями тяжелых металлов показали, что дождевые черви активно поглощают тяжелые металлы, которые ведут к значительным изменениям их пищеварительной системы. Увеличение концентрации тяжелых металлов ведет к частичной, а затем и к полной гибели популяции дождевых червей. При применении сульфата меди полная гибель дождевых червей отмечена при 50 % концентрации, хлорида кобальта – 40 %, сульфата железа – 20 %, сульфата кадмия – 10 % концентрации препарата. По степени негативного влияния на дождевых червей изучаемые химические элементы можно расположить следующим образом:  $Cd > Fe > Co > Cu > Zn$ .

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, почва, загрязнение, дождевые черви, окружающая среда.

*Environmental pollution by heavy metals is one of the main environmental problems at the present stage of development of society. The accumulation of heavy metals in the biosphere worsens the environmental situation and negatively affects human health. Currently, the main pollution of the biosphere by heavy metals occurs as a result of active anthropogenic activity in various sectors of the economy (industry, energy, transport, agriculture).*

*Certain flaws in the construction and operation of industrial enterprises of the Turkestan region and the city of Shymkent led to the accumulation of heavy metals in the soil. Analysis of the accumulation of heavy metals in the soils of Shymkent showed that the city belongs to settlements with a class of high pollution levels, which makes it important to develop measures for monitoring and cleaning soils from heavy metals.*

*One of the areas for monitoring soil pollution with heavy metals is the use of an indication method using earthworms. Model studies with various concentrations of heavy metals have shown that earthworms actively absorb heavy metals, which lead to significant changes in their digestive system. An increase in the concentration of heavy metals leads to a partial, and then to the complete death of the population of earthworms. When using copper sulfate, the complete death of earthworms was noted at 50% concentration, cobalt chloride - 40%, iron sulfate - 20%, cadmium sulfate - 10% of the preparation concentration. According to the degree of negative impact on earthworms, the studied chemical elements can be arranged as follows:  $Cd > Fe > Co > Cu > Zn$ .*

**Key words:** heavy metals, soil, pollution, earthworms, environment.

### Введение

В последнее время человек оказывает значительное антропогенное воздействие на почвенный покров. Одним из видов негативного антропогенного воздействия на почву является ее загрязнение тяжелыми металлами, особенно урбанизированных территорий и городских ландшафтов, промышленных зон, придорожных территорий и т. д. [1–11].

Тяжелые металлы (свинец, медь, цинк, кадмий и др.) поступают в почву вследствие некоторых природных явлений, например выветривания минералов [12–13]. Однако основное количество тяжелых металлов в окружающую среду поступает в результате различных видов антропогенной деятельности.

Источниками тяжелых металлов являются отходы промышленности (черная и цветная металлургия, химическая, целлюлозно-бумажная, строительная, машиностроительная, легкая и пищевая, энергетическая, нефтехимическая и нефтеперерабатывающая), энергетики, транспорта,

сельскохозяйственной деятельности (пестициды, микроудобрения). Предприятия каждой из отраслей производят специфические отходы, для которых характерен «свой» набор загрязняющих веществ.

Тяжелые металлы, попадая в почву, оказывают различное негативное влияние на почвенные процессы. Они усиливают минерализацию органического вещества почвы, вызывая негативные изменения в почвенно-поглощающем комплексе. В почвах, загрязненных тяжелыми металлами, снижается ферментативная активность почвы и жизнеспособность многих полезных микроорганизмов, что приводит к деградации почвы и снижает ее способность к самоочищению.

В районах активной сельскохозяйственной деятельности тяжелые металлы из атмосферы и почвы переходят в растения, а затем – в организм сельскохозяйственных животных и человека. Многие тяжелые металлы даже в небольших количествах могут вызывать иммунологические, онкологические и другие виды заболеваний [14–18].

Негативные последствия загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами представляют в настоящее время реальную угрозу для биосферы.

### **Основная часть**

Достаточно сложным является вопрос нормирования содержания тяжелых металлов в почве. В основе его решения должно лежать признание полифункциональности почвы. В процессе нормирования почва может рассматриваться с различных позиций: как естественное природное тело, как среда обитания и субстрат для растений, животных и микроорганизмов, как объект и средство сельскохозяйственного и промышленного производства, как природный резервуар, содержащий патогенные микроорганизмы. Нормирование содержания тяжелых металлов в почве необходимо проводить на основе почвенно-экологических принципов, которые отрицают возможность нахождения единых значений для всех почв.

По вопросу санации почв, загрязненных тяжелыми металлами, существует два основных подхода. Первый направлен на очищение почвы от тяжелых металлов. Очищение может производиться путем промывок, путем извлечения тяжелых металлов из почвы с помощью растений, путем удаления верхнего загрязненного слоя почвы и т. п. Второй подход основан на закреплении тяжелых металлов в почве, переводе их в нерастворимые в воде и недоступные живым организмам формы. Для этого предлагается внесение в почву органического вещества, фосфорных минеральных удобрений, ионообменных смол, природных цеолитов, бурого угля, известкование почвы и т. д. Однако любой способ закрепления тяжелых металлов в почве имеет свой срок действия. Рано или поздно часть тяжелых металлов снова начнет поступать в почвенный раствор, а оттуда в живые организмы.

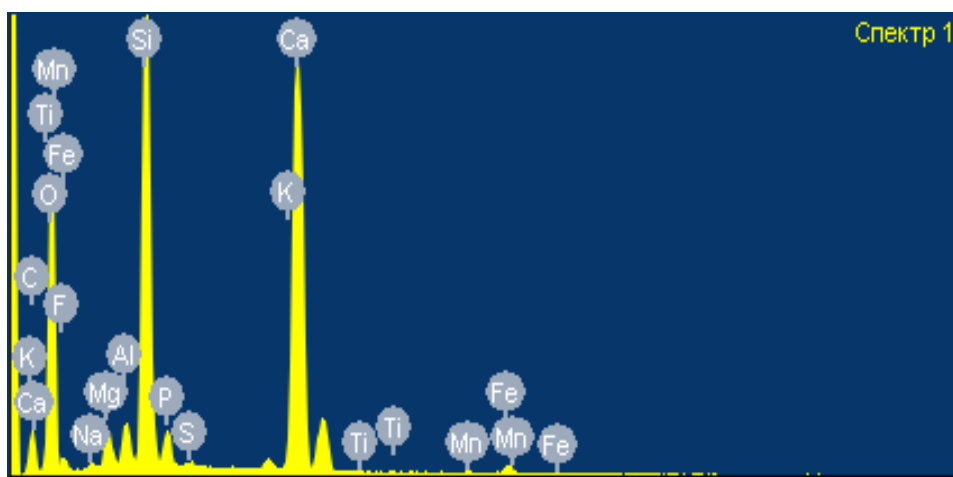
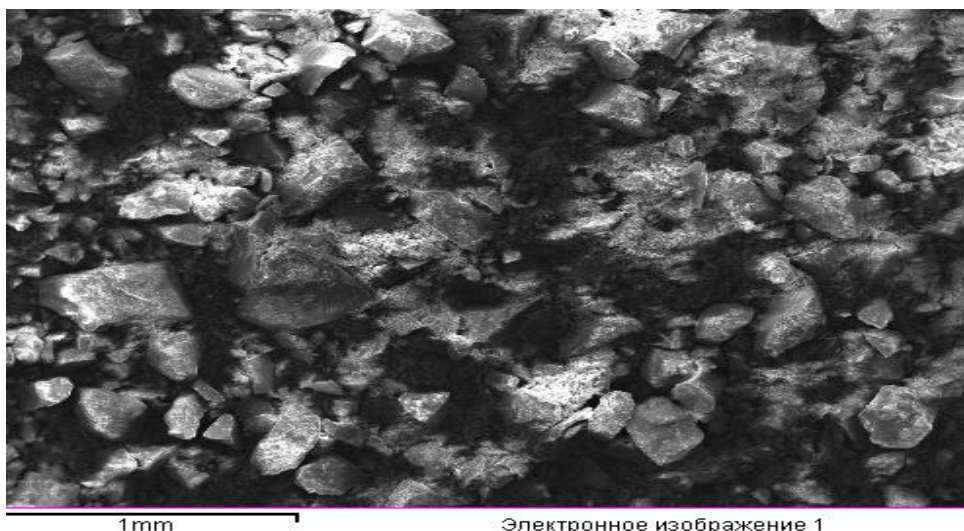
Туркестанская область – один из промышленно развитых и густонаселенных регионов Республики Казахстан. Рост техногенной нагрузки на окружающую среду региона связан с интенсивным развитием промышленности во второй половине прошлого века. В связи с приоритетами, установленными для обеспечения валового объема производимой продукции, в проектировании промышленных объектов были допущены существенные просчеты. Не были предусмотрены проектные требования по обеспечению систем оборотного водоснабжения и водовозвращения для производств, деятельность которых связана с большим водопотреблением, не произведены детальные расчеты по определению возможной суммарной нагрузки вредных веществ для окружающей среды, поступающих дымовой эмиссией от большой концентрации промышленных предприятий. При определении пространственной изоляции производственных зон и мест складирования отходов и золоотвалов промышленных предприятий не были учтены возможные темпы развития населенных пунктов и близость поверхностных водных источников. Как следствие этих просчетов, в настоящее время промышленные и санитарно-защитные зоны большинства крупных промышленных предприятий оказались на территории крупных городов и населенных пунктов региона и являются хроническими источниками загрязнения окружающей среды. В связи с этим в настоящее время проблема очистки почв, территории промышленных зон от ионов тяжелых металлов стала одной из острых экологических проблем региона.

У населения, проживающего в районах, прилегающих к промышленным предприятиям, наблюдаются повышенный уровень онкозаболеваний и болезней эндокринной системы.

В данное время особую важность имеет оценка влияния изменения экологической ситуации на организм человека и разработка методов донозологической диагностики этих влияний. Шымкент – один из крупнейших промышленных центров Казахстана. По итогам мониторинга за 2018 год службой Казгидромет, Шымкент был отнесен к классу повышенного уровня загрязнения [19].

Вредные вещества в атмосферу поступают от предприятий нефтеперерабатывающей промышленности, энергетики, цветной металлургии. Однако анализ показал, что на сегодняшний

день выбросы загрязняющих веществ от передвижных источников составляют более 70 % от общего валового выброса. Свалки бытового мусора также являются одной из проблем города. На свалке образуются ядовитые вещества от гниющих отходов, различные канцерогены, кроме того, при сжигании мусора выделяются токсичные вещества, вызывающие массу заболеваний. Поэтому весь бытовой мусор необходимо подвергать захоронению. Электронное изображение отходов г. Шымкент представлено на рис. 1, их элементный состав – на рис. 2 и табл. 1.



Таблица

Элемент	Полная шкала 3695 имп. Курсор: 0.000						Si
Весовой %							13,12
Элемент	P	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe
Весовой %	1,37	0,16	0,42	21,06	0,08	0,20	1,03

Используются различные способы очистки загрязненных почв от тяжелых металлов. Особое внимание уделяется биоиндикации как оценке изменений окружающей среды, вызванных антропогенными воздействиями. Актуальность биоиндикации обусловлена также простотой, скоростью и дешевизной определения качества среды. В качестве индикаторов используем дождевые черви. Для почвы дождевые черви незаменимы. Во-первых, червь – это практически одна большая и длинная пищеварительная система, которая заглатывает полуразложившиеся остатки растений вместе с землей. Черви разлагают почвенную органику и обогащают почву минеральными веществами. Во-вторых, они дренируют почву.

Для контроля загрязнения почв тяжелыми металлами были взяты почвы дендропарка г. Шымкент. Точечные пробы отбирали послойно с глубины 0–5 и 5–20 см массой не более 100 г каждая. Пробы почвы для химического анализа высушивали до воздушно-сухого состояния, далее хранили в матерчатых мешочках и картонных коробках. Для определения химических веществ, пробу почвы в лаборатории рассыпали на бумаге (кальке) и разминали пестиком крупные комки. Почву растирали в ступке пестиком и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм.

Для воздействия на дождевых червей в качестве модельных тяжелых металлов были выбраны цинк гранулированный, сульфат кадмия, сульфат меди, хлорид кобальта и сульфат железа. Для оценки влияния этих реагентов на дождевых червей применяли пластиковые стаканы объемом 0,5 л, которые заполнялись пробами по 100 г почвы в каждом стакане. Всего использовалось 5 стаканов с одинаковым количеством почвы, куда добавляли отход хлопкового масла и в каждый стакан по 10 шт. дождевых червей. Длительность эксперимента по воздействию тяжелых металлов на дождевых червей составляла две недели. В течение всего периода в образцах поддерживалась постоянная влажность почвенной среды 65–70 %.

Как показали результаты исследований, дождевые черви неодинаково реагировали как на различные виды загрязнителей, так и концентрацию испытываемых реагентов (табл. 2).

Таблица 2. Реакция дождевых червей на загрязнение почвы различными реагентами

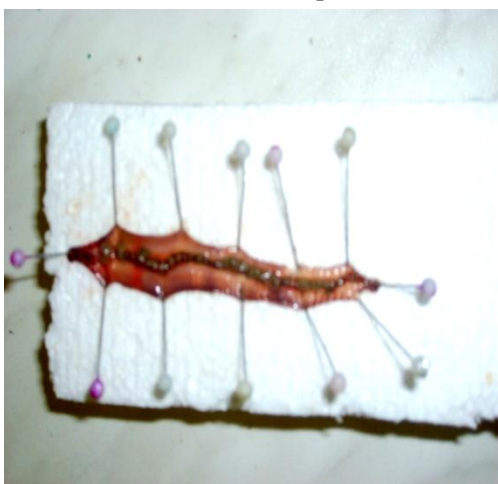
Реагент	контроль	10%	20%	30%	40%	50%
Zn гранулированный	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Cu <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	100%	+	+	+	+	гибель
CdSO <sub>4</sub>	100%	гибель	–	–	–	–
CoCl	100%	30% живые	20% живые	10% живые	гибель	–
Fe <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	100%	+	гибель	–	–	–

Наименьшее влияние на популяцию дождевых червей оказал гранулированный цинк – 100 % выживаемость дождевых червей отмечена во всех опытных вариантах.

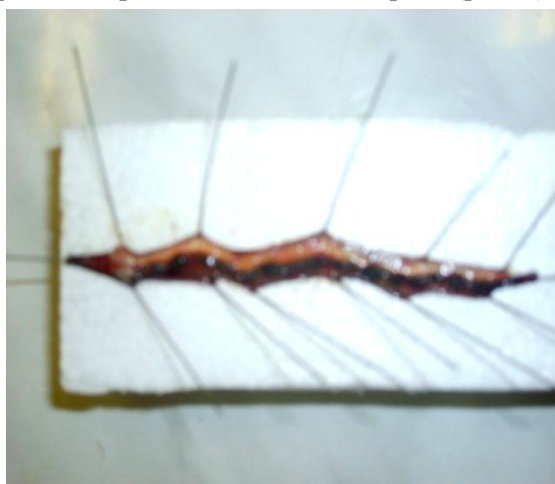
В варианте с применением сульфата меди полная гибель червей отмечена при 50 % концентрации реагента, хлорида кобальта – при 40 % концентрации, сульфата железа – 20 %, сульфата кадмия – 10 % концентрации препарата.

По степени негативного влияния на дождевых червей изучаемые химические элементы можно расположить следующим образом: Cd > Fe > Co > Cu > Zn.

Исследование внутреннего строения дождевых червей показало, что они впитали через кожу все токсичные элементы, которые отмечены на внутренних строениях дождевых червей (рис. 3).



внутреннее строение дождевых червей, живущих на чистой почве



внутреннее строение дождевых червей, живущих на загрязненной почве с тяжелыми металлами

Рис. 3. Внутренне строение дождевых червей на различных по степени загрязнения почвах

### Заключение

Накопление в почвах Туркестанской области и города Шымкент (Республика Казахстан) тяжелых металлов делает необходимым разработку мероприятий по их мониторингу и очистке от загрязняющих веществ.

Использование метода биоиндикации в модельных исследованиях с различными концентрациями реагентов показали, что дождевые черви активно поглощают тяжелые металлы. Увеличение концентрации тяжелых металлов в почве ведет к значительным изменениям пищеварительной системы дождевых червей и к частичной, а затем и к полной гибели популяции.

При применении сульфата меди полная гибель дождевых червей отмечена при 50 % концентрации, хлорида кобальта – 40 %, сульфата железа – 20 %, сульфата кадмия – 10 % концентрации препарата. По степени негативного влияния на дождевых червей изучаемые химические элементы можно расположить следующим образом: Cd > Fe > Co > Cu > Zn.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Головатый, С. Е. Кадмий, цинк и свинец в почвах в зоне воздействия промышленных предприятий / С. Е. Головатый, С. В. Савченко, Е. А. Самусик // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2017. – № 4. – С. 70–80.
2. Головатый, С. Е. Формирование педогеохимических аномалий в зонах воздействия промышленных предприятий / С. Е. Головатый, С. В. Савченко, Е. А. Самусик // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2018. – № 3. – С. 94–103.
3. Досалиев, К. С. Перспективы применения техногенных отходов / К. С. Досалиев, К. Т. Жантасов, В. Н. Босак // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2018. – Вып. 3. – С. 6–9.
4. Использование техногенных отходов для дорожной одежды коробчатого типа / К. Т. Жантасов, О. Б. Дормешкин, В. Н. Босак, К. С. Досалиев // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2017. – № 2. – С. 170–175.
5. Лукашенко, Н. К. Содержание свинца в торфяно-болотных почвах и растениях придорожных полос автомагистралей / Н. К. Лукашенко // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 1. – С. 274–279.
6. Михальчук, Н. В. Подвижные формы тяжелых металлов и микроэлементов в почвах карбонатного ряда юго-запада Беларуси / Н. В. Михальчук // Весці НАН Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2017. – № 3. – С. 90–97.
7. Мыслыва, Т. Н. Тяжелые металлы в агроселитебных ландшафтах г. Горки / Т. Н. Мыслыва, О. Н. Левшук // Вестник БГСХА. – 2019. – № 2. – С. 211–216.
8. Перспективы и оценка использования техногенных отходов фосфорного производства / К. С. Досалиев, К. С. Байболов, К. Т. Жантасов, В. Н. Босак // Вестник БГСХА. – 2018. – № 2. – С. 205–208.
9. Позняк, С. С. Загрязнение тяжелыми металлами дерново-подзолистой и торфяной почв сельскохозяйственных угодий в районе г. Жодино / С. С. Позняк // Экологический вестник. – 2010. – № 1. – С. 100–108.
10. Толкач, Г. В. Содержание химических элементов в почвах на территории фермерских (крестьянских) хозяйств Брестского района / Г. В. Толкач, С. С. Позняк // Экологический вестник. – 2015. – № 3. – С. 79–88.
11. Химическое загрязнение почвенного покрова г. Бобруйск / А. А. Голденков, И. А. Залыгина, С. П. Марчук, В. И. Матвеева // Экологический вестник. – 2010. – № 2. – С. 31–39.
12. Босак, В. Н. Влияние антропогенноносимых кислот на процессы выветривания гранита / В. Н. Босак, К. Штар // Труды БГТУ: Лесное хозяйство. – 2012. – № 1. – С. 218–220.
13. Zarei, M. Mineralumwandlung und Mineralzerstörung infolge Versauerung in Waldstandorten des Schwarzwaldes / M. Zarei, K. Stahr, K.-H. Papenfuss. – Stuttgart: Hohenheim, 1993. – 139 s.
14. Безопасность жизнедеятельности человека / В.Н. Босак, А.С. Алексеенко, Т.В. Сачивко и др. – 2 изд. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 312 с.
15. Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды / С. В. Белов. – Москва: Юрайт, 2011. – 680 с.
16. Мотузова, Г. В. Химическое загрязнение биосферы и его экологические последствия / Г. В. Мотузова, Е. А. Карпова. – Москва: МГУ, 2013. – 304 с.
17. Мудрый, И. В. Влияние химического загрязнения почвы на здоровье населения / И. В. Мудрый // Гигиена и санитария. – 2008. – № 4. – С. 32–37.
18. Baibotayeva, A. Influence of heavy metals (As, Pb, Cd) on the environment / A. Baibotayeva, G. Kenzhaliyeva, V. Bosak // Industrial Technology and Engineering. – 2019. – Nr. 2. – P. 5–10.
19. Департамент экологического мониторинга РГП «КАЗГИДРОМЕТ» // Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды Республики Казахстан за 2018 год. – Нур-Султан: Стандартиформ, 2018. – 331 с.