

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И РАСТЕНИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ Г. УЛАН-УДЭ

## ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONTENT IN SOIL AND PLANTS ON THE TERRITORY OF THE LANDFILL OF SOLID MUNICIPAL WASTES IN ULAN-UDE

O. Chudinova  
S. Gulgenov

*Summary.* The article presents the results of the ecological assessment of the content of heavy metals in soil and plants in the zone of influence of the landfill for solid municipal waste of Ulan-Ude. The study was carried out with samples of soil and *Artemisia scoparia*, taken in 20 points on the border of the landfill site in and sanitary protection zone. Bulk concentrations of Cu, Zn, Pb were within the limits of maximum permissible concentrations and their background values were exceeded 1.1 to 23.25 times. Comparison of concentrations of heavy metals in soil and plants showed that the concentration of heavy metals in plants was many times higher than in soil: for Cu from 12.3 to 15.79 times, for Zn from 16.3 to 141.7 times.

*Keywords:* landfill of solid municipal waste, heavy metals, soil, plants.

**Чудинова Ольга Николаевна**

К.б.н., доцент, ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (г. Улан-Удэ)  
chudinova1980@inbox.ru

**Гулгенов Сергей Жаргалович**

К.б.н., доцент, ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (г. Улан-Удэ)  
gulgenov-s@mail.ru

*Аннотация.* В статье представлены результаты экологической оценки содержания тяжелых металлов в почвенном покрове и растениях в зоне влияния полигона для размещения твердых коммунальных отходов г. Улан-Удэ. Исследование проводилось с образцами почвы и *Artemisia scoparia*, отобранными в 20 точках на границе участка захоронения отходов и в санитарно-защитной зоне. Валовое содержание Cu, Zn, Pb находилось в пределах предельно допустимых концентраций, наблюдалось превышений их фоновых значений от 1,1 до 23,25 раз. Сравнение содержания тяжелых металлов в почве и растениях показало, что концентрации тяжелых металлов в растениях во много раз превышают их содержание в почве: по Cu — от 12,3 до 15,79 раз, Zn — от 16,3 до 141,7 раз.

*Ключевые слова:* полигон твердых коммунальных отходов, тяжелые металлы, почва, растения.

### Введение

В связи с растущими темпами урбанизации, увеличением количества транспортных средств и санкционированных и несанкционированных мест захоронения отходов, проблема химического загрязнения тяжелыми металлами является актуальной задачей для большинства населенных пунктов. Оценку их содержания в различных компонентах окружающей среды необходимо проводить для характеристики экологической ситуации в городе и разработки мероприятий по комплексному восстановлению загрязненных территорий [1].

Ежегодно на территории России образуется более 48 млн т твердых коммунальных отходов (ТКО), из которых только 6,5 % утилизируется, остальные отходы размещаются на полигонах ТКО или попадают на несанкционированные свалки [5]. На данный момент на территории страны эксплуатируется около 800 полигонов ТКО. Несмотря на наличие защитных мероприятий на организованных полигонах ТКО, частой проблемой является распространение загрязняющих элементов, в том чис-

ле, тяжелых металлов, на значительные территории, что связано с геологическими, климатогеографическими условиями и особенностями эксплуатации полигона. Для корректной оценки степени загрязненности грунтов тяжелыми металлами необходимо анализировать и растения, произрастающие на исследуемой территории, так как почва и растения являются единой системой. Более того, в случае обнаружения загрязнения в почвогрунтах, определение содержания тяжелых металлов в растениях необходимо еще и потому, что это позволит оценить возможность использования местных дикорастущих растений для биологической очистки почв методом фиторемедиации. При этом дикорастущие растения, в частности рудеральные растения, заслуживают отдельного внимания, так как они обладают повышенной устойчивостью к воздействию неблагоприятных факторов [2].

### Цель исследования

Проведение экологической оценки содержания тяжелых металлов в почве и растениях в зоне воздействия полигона для размещения ТКО г. Улан-Удэ.

## Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись образцы почвы и *Artemisia scoraria* на территории полигона ТКО г. Улан-Удэ, расположенного в урочище «Березняк» в Тарбагатайском районе Республики Бурятия. Данный полигон является самым крупным объектом размещения ТКО в республике, его общая площадь составляет 30,2 га. В зоне складирования полигона размещено более 300 тыс. м<sup>3</sup> отходов. Территория полигона ТКО находится в 12 км к югу от г. Улан-Удэ. Объект размещения отходов расположен в северных отрогах хребта Цаган-Дабан, между паадьми Медведчиков ключ и Ревушкина. Геологическое строение полигона представлено аллювиально-пролювиальными четвертичными песчаными отложениями. Подземные воды залегают на глубинах более 20 м. Данная территория по почвенному районированию относится к горно-долинной Удино-Хилокской группе округов с дерновыми лесными, каштановыми, черноземными почвами и подбурами. Почвообразующие породы представлены четвертичными отложениями: пески, супеси, гравий и галька. Дерново-лесные почвы имеют легкий гранулометрический состав, преобладают фракции мелкого песка и крупной пыли (0,25–0,05 и 0,05–0,01 мм). Объёмный вес данных почв колеблется в пределах 1,15–1,44 г/см<sup>3</sup> [7].

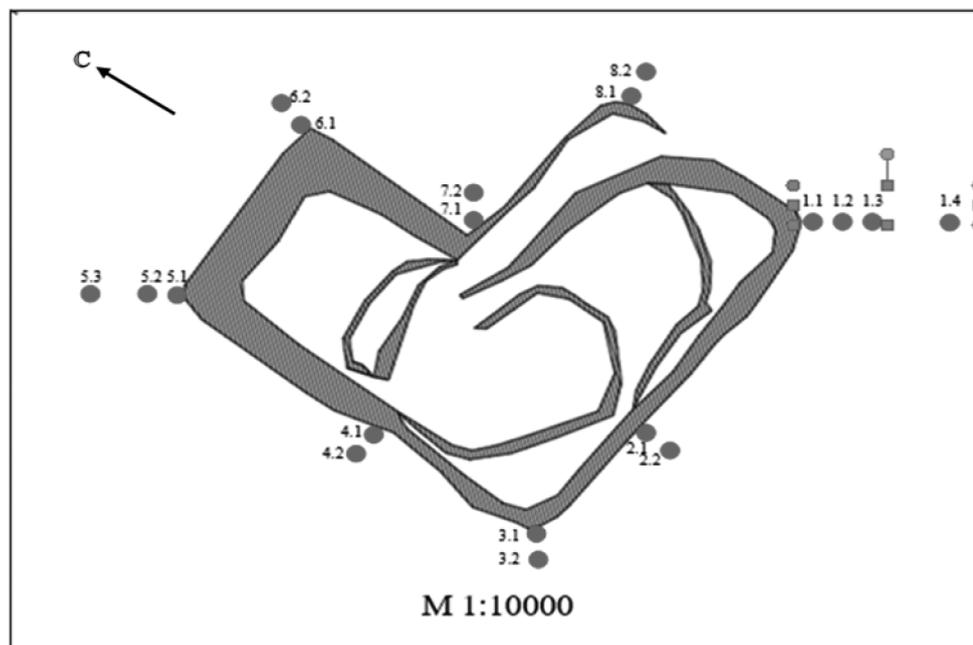
Отбор проб почвы проводился в соответствии с существующими требованиями [3,4] по 8 румбам. По каждому направлению почва и растения отбирались в 2 точках: на границе полигона и на расстоянии 50 м от нее.

Дополнительно пробы отбирались с подветренной стороны в следующих точках: на расстоянии 100, 200, 300 м от границы полигона. В качестве фоновых были отобраны пробы с наветренной стороны на расстоянии 300 м. Точечные пробы отбирались на пробной площадке методом конверта. Для химического анализа объединенные пробы составлялись не менее чем из пяти точечных проб, взятых с одной пробной площадки. Масса каждой объединенной пробы — 1–1,2 кг. Все отобранные пробы высушивали до воздушно-сухого состояния и просеивали через сито с диаметром отверстий 2 мм.

Пробы растений отбирались на тех же участках, что и пробы почвы. Поскольку на некоторых участках отбора почвенных образцов растительность отсутствовала, то пробы *Artemisia scoraria* были отобраны в точках 1.1, 2.1, 5.1, 6.1. Объединенную пробу составляли из точечных проб, взятых из надземной и подземной частей растений [6]. Места отбора проб почвы и растений представлены на рисунке 1.

Количественную оценку содержания в почве тяжелых металлов проводили с применением атомно-абсорбционного метода с плазменной атомизацией на атомно-абсорбционном спектрометре Spectr AA 240 [8].

Минерализацию проб растений проводили методом сухого озоления по ГОСТ 26657-85. Кислотная экстракция тяжелых металлов из золы осуществлялась растворением в 20 %-ном растворе HNO<sub>3</sub> с последующим определением методом атомно-абсорбционной спектроскопии [6].



● – Точки отбора проб

1.2, 2.1, 5.1, 6.1 – точки отбора проб растений.

Рис. 1. Карта-схема мест отбора проб почвы и растений

В образцах почвы и растений определялись такие тяжелые металлы как Zn, Cu, Pb.

Для оценки загрязнения исследуемой территории использовали несколько различных индексов и показателей.

Для оценки загрязнения поверхностного слоя почв конкретным тяжелым металлом рассчитывали индекс геоаккумуляции (Geoaccumulation Index,  $I_{geo}$ ) [11,12]:

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_i}{1,5 \times GB} \right),$$

где  $C_i$  — содержание тяжелого металла в почве;  $GB$  — фоновое содержание тяжелого металла. По величине индекса геоаккумуляции можно проранжировать состояние почв следующим образом:  $I_{geo} < 0$  — незагрязненные;  $I_{geo} = 0 \div 1$  — слабая степень загрязнения;  $I_{geo} = 1 \div 2$  — умеренная степень загрязнения;  $I_{geo} = 2 \div 3$  — достаточно сильная степень загрязнения;  $I_{geo} = 3 \div 4$  — сильная степень загрязнения;  $I_{geo} = 4 \div 5$  — очень сильная степень загрязнения,  $I_{geo} > 5$  — чрезвычайно сильная степень загрязнения.

Для оценки степени комплексного загрязнения почвы ТМ использовали индекс нагрузки загрязнения (Pollution Load Index,  $PLI$ ) [13]:

$$PLI = \sqrt[n]{PI_1 \times PI_2 \times \dots \times PI_n},$$

где  $PI$  — индекс загрязнения (Single Pollution Index,  $PI$ ) [10], рассчитываемый как отношение содержания тяжелого металла в почве к его фоновому содержанию. При значении  $PLI < 1$  почва относится к категории «незагрязненных», при  $PLI = 1$  — степень загрязнения незначительная,  $PLI > 1$  — почва загрязнена.

Для оценки уровня химического загрязнения почв как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения использовали суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ), равный сумме коэффициентов концентраций химических элементов-загрязнителей ( $K_c$ ), которые представляют собой отношение фактического содержания определяемого вещества в почве к региональному фоновому содержанию данного вещества [9]:

Таблица.

Количественная оценка содержания тяжелых металлов в почвах и растениях

№ пробы	Cu, мг/кг		Zn, мг/кг		Pb, мг/кг	
	Концентрация в почве	Концентрация в <i>Artemisia scoparia</i>	Концентрация в почве	Концентрация в <i>Artemisia scoparia</i>	Концентрация в почве	Концентрация в <i>Artemisia scoparia</i>
фон	0,08±0,02		0,66±0,17		0,21±0,05	
1.1	0,32±0,08	10,39	0,8±0,20	22,89	0,31±0,07	0,61
1.2	0,1±0,025		1,34±0,34		0,26±0,06	
1.3	0,25±0,06		2,53±0,63		0,53±0,13	
1.4	0,09±0,02		0,64±0,16		0,55±0,14	
1.5	0,22±0,06		1,39±0,35		0,62±0,16	
2.1	1,28±0,07	15,79	3,25±0,81	53,12	0,46±0,12	0,71
2.2	1,86±0,47		2,64±0,66		0,35±0,09	
3.1	0,28±0,07		1,05±0,26		0,32±0,08	
3.2	0,09±0,02		1,3±0,33		0,32±0,08	
4.1	0,08±0,02		1,75±0,44		0,47±0,12	
4.2	0,09±0,02		0,94±0,24		0,18±0,04	
5.1	0,12±0,03	9,43	0,6±0,15	12,52	0,59±0,15	0,19
5.2	0,06±0,02		1,08±0,27		0,07±0,02	
6.1	0,25±0,06	9,96	1,19±0,30	26,92	0,37±0,01	0,52
6.2	0,05±0,01		0,77±0,19		0,20±0,05	
7.1	0,22±0,06		0,45±0,11		0,39±0,10	
7.2	0,21±0,05		0,58±0,15		0,23±0,06	
8.1	0,34±0,09		0,55±0,14		0,37±0,09	
8.2	0,33±0,08		4,8±1,20		0,38±0,10	

$$Z_c = \sum_{i=1}^n (K_{ci} + K_{cn}) - (n - 1),$$

где  $n$  — число определяемых суммируемых вещества. При  $Z_c < 16$  степень химического загрязнения почвы считается допустимой,  $Z_c = 16 \div 32$  — умеренно опасная,  $Z_c = 32 \div 128$  — опасная,  $Z_c > 128$  — чрезвычайно опасная.

### Результаты исследования

Результаты анализа валового содержания тяжелых металлов в исследуемых почвах и растениях представлены в таблице.

Анализ результатов исследования показал, что во всех точках по всем тяжелым металлам превышения гигиенических нормативов [9] не выявлено. Однако в 90 % точек наблюдалось превышение фонового значения по Cu, в 74 % — по Zn, в 84,2 % — по Pb.

Анализ индексов геоаккумуляции ( $I_{geo}$ ) Cu выявил очень сильную степень загрязнения почвы этим тяжелым металлом в точках, расположенных с южной стороны от границы полигона ТКО ( $I_{geo} = 3,42-3,95$ ), в точках на границе полигона наблюдалась умеренная степень загрязнения ( $I_{geo} = 1,06-1,5$ ), в остальных точках — слабая степень загрязнения или почва не загрязнена. Индекс геоаккумуляции Zn показал достаточно сильную степень загрязнения в точке, расположенной в 50 м с восточной стороны полигона ТКО, умеренную степень загрязнения — на границе и в 50 м с южной стороны от границы полигона ТКО. В остальных исследуемых точках почва слабо загрязнена. По Pb расчет индекса геоаккумуляции выявил незагрязненную почву (в 7 точках) и слабую степень загрязнения (в 12 точках).

Анализ рассчитанных индексов нагрузки загрязнения (PLI) показал, что во всех исследуемых точках, кроме двух точек в 50 м от полигона ТКО, почва загрязнена ( $PLI = 1,11-5,57$ ). Отсутствие загрязнения поверхностного слоя почвы в двух точках может быть обусловлено их расположением с наветренной стороны (с северо-западной и северной стороны относительно полигона ТКО).

Оценка уровня химического загрязнения почв по значению суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ )

умеренно опасную категорию загрязнения в точках, расположенных с южной стороны от границы полигона ТКО, в остальных исследуемых точках — допустимая категория загрязнения почвенного покрова.

В настоящее время не существует единой оценки допустимых концентраций тяжелых металлов в растениях [2], поэтому в данной работе внимание было уделено сравнительному анализу содержания тяжелых металлов в системе «почва-растение». Сравнение содержания тяжелых металлов в почве и растениях показало, что концентрации тяжелых металлов в растениях во много раз превышают их содержание в почве: было выявлено наличие положительной корреляции между повышенными уровнями концентраций Cu, Zn в почвогрунтах, примыкающих к полигону ТКО, и уровнями соответствующих тяжелых металлов в *Artemisia scoraria*. Превышение концентраций Cu в растениях по сравнению с почвой составило от 12,3 до 15,79 раз, концентраций Zn — от 16,3 до 141,7 раз, что можно объяснить высоким показателем коэффициента биологического поглощения этих тяжелых металлов. Для Pb данная закономерность не обнаружена.

### Выводы

1. Проведена оценка загрязнения почвы тяжелыми металлами вокруг полигона для размещения твердых коммунальных отходов г. Улан-Удэ. Несмотря на то, что содержание всех исследуемых элементов находилось в пределах установленных гигиенических нормативов, наблюдалось превышение их фоновых значений в 1,13–23,25 раз по Cu, в 1,17–7,27 раз по Zn, в 1,1–2,95 раз по Pb. В целом исследуемые почвы характеризовались выраженным комплексным загрязнением тяжелыми металлами.
2. Изучена миграция тяжелых металлов из почвы в произрастающие на них растения на примере *Artemisia scoraria* в некоторых исследуемых точках. Установлена положительная корреляция между уровнями концентраций Cu и Zn в почве и исследуемых растениях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Авдощенко, В.Г. Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв города Петропавловска-Камчатского, Камчатский край / В.Г. Авдощенко, А. В. Климова // Вестник Камчатского государственного технического университета. — 2022. — № 61. — С. 65–81. — DOI 10.17217/2079-0333-2022-61-65-81.
2. Анализ миграции тяжелых металлов в системе «почва-растение» при эколого-геологической оценке окружающей среды вокруг полигона ТКО в г. Тамбов / Н.О. Милутина, Н.Г. Осмоловская, Н.А. Политаева, В.В. Куриленко // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. — 2020. — № 3. — С. 55–63. — DOI 10.31857/S086978092003008X.
3. ГОСТ Р 53123-2008. Качество почвы. Отбор проб. Часть 5. Руководство по изучению городских и промышленных участков на предмет загрязнения почвы.

4. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
5. Доклад о деятельности Федеральной службы по надзору в сфере природопользования в 2022 году.
6. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства, 1992.
7. Оценка воздействия на окружающую среду проектной документации «Строительство полигона твердых коммунальных отходов г. Улан-Удэ», 2019.
8. РД 52.18.191-89 «Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом».
9. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
10. Kowalska J.B., Mazurek R., Gąsiorek M., Zaleski T. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination — A review. *Environmental Geochemistry and Health*. Vol. 40, 2018. P. 2395–2420.
11. Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geochemical Journal*. Vol. 2, 1969. P. 108–118.
12. Nowrouzi M., Pourkhabbaz A. Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Hara Biosphere Reserve, Iran. *Chemical Speciation & Bioavailability*. Vol. 26, 2014. P. 99–105.
13. Varol M. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 195, 2011. P. 355–364.

---

© Чудинова Ольга Николаевна (chudinova1980@inbox.ru); Гулгенов Сергей Жаргалович (gulgenov-s@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»