

Оценка уровня загрязнения тяжёлыми металлами почвоподобной фракции свалки в границах северного промышленного узла Волгограда

*Н.А. Селезнева, В.Ф. Желтобрюхов, Н.В. Грачева, С.Б. Хантимирова, О.А. Мишустин,
А.А. Околелова, И.М. Дородникова*

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: В работе представлены результаты исследования загрязнения тяжёлыми металлами почвоподобной фракции свалочных масс свалки, расположенной на территории Тракторозаводского района Волгограда. Проведена оценка уровня загрязнения с использованием показателя суммарного химического загрязнения и его модификаций. Установлено, что значения уровней загрязнения тяжёлыми металлами зависят от используемого индекса. Средние геометрические суммарные показатели химического загрязнения являются предпочтительными. Поскольку уровень загрязнения исследуемой почвоподобной фракции оценен как опасный, ее использование в качестве рекультивационного материала может быть разрешено только после ее детоксикации. Основным вклад в загрязнение внесён кадмием, медью и никелем.

Ключевые слова: свалки, почвоподобная фракция, тяжёлые металлы, уровень загрязнения

За рубежом все чаще старые свалки рассматриваются как источник вторичных материальных и энергетических ресурсов [1-3]. Наиболее доступной и легко выделяемой фракцией свалочных масс является мелкая почвоподобная фракция, состоящая из органических и минеральных компонентов [2, 4, 5]. Потенциально ее можно использовать в качестве компоста или грунта-рекультиванта [2, 3]. Ограничивающим фактором использования этой фракции является ее загрязнение тяжёлыми металлами [6, 7], оказывающее негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду.

Цель настоящей работы – оценка уровня загрязнения тяжёлыми металлами почвоподобной фракции свалки, расположенной в границах

северного промышленного узла Волгограда, и определение возможности ее использования в качестве грунта при рекультивации территории.

Исследуемая свалка, эксплуатация которой завершена в 2002 году, расположена на северной окраине Тракторозаводского района Волгограда, в 0.6 км юго-западнее пересечения автомобильной трассы 18А-5 с автодорогой Волгоград-Саратов (ул. Шурухина). Ранее на территории свалки осуществлялось размещение отходов производства и потребления. Мощность техногенных грунтов составляет от 2.8 м до 14.2 м.

Образцы почвоподобной фракции были отобраны с пробных площадок размером 100х100м методом конверта с глубины 0,0-0,3м и 1м и из скважин – усредненные с различной глубины (рис. 1, таблица 1).



Рис. 1. – Схема отбора проб почвоподобной фракции
с пробных площадок и из скважин

Было отобрано 20 проб. Все образцы были предварительно просеяны через сито с размером ячеек 3 мм и упакованы в двойные пластиковые пакеты. Анализы проведены сертифицированной

аккредитованной лабораторией. В отобранных пробах было определено содержание кислоторастворимых форм следующих тяжелых металлов: ртути (Hg), кадмия (Cd), мышьяка (As), свинца (Pb), цинка (Zn), никеля (Ni) и меди (Cu) (таблица 1). Эта кислоторастворимые металлы характеризуют потенциальную опасность, так как способны при определенных условиях активно мигрировать и оказывать негативное воздействие окружающей среду [8].

Таблица №1

Содержание тяжелых металлов в почвоподобной фракции (мг/кг)

№	Глубина, м	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
1a	0-0,3	86,5	117	59,5	3,6	1,6	<0,05
1b	1,0	68,5	112	55,5	2,2	1,0	<0,05
3a	0-0,3	70	111	77,9	2,6	2,6	<0,05
3b	1,0	59	110	60,0	1,2	1,0	<0,05
4a	0-0,3	84	66,0	58,6	1,0	1,7	<0,05
4b	1,0	71	61,2	123,0	0,9	1,0	<0,05
5a	0-0,3	85	132	116,0	0,9	0,6	<0,05
5b	1,0	75	120	59,9	0,5	0,5	<0,05
6a	0-0,3	69	85,0	142,0	0,3	0,7	<0,05
6b	1,0	56	58,9	139,0	0,1	0,5	<0,05
Скв.2	0-3,0	84,3	104	57,3	2,74	1,34	<0,05
Скв.2	3,0-6,0	0,74	21,4	3,3	0,31	0,33	<0,05
Скв.2a	0-2,0	64,1	114	55,4	2,2	1,33	<0,05
Скв.2a	2,0-2,6	0,73	8,1	1,1	<0,001	0,73	<0,05
Скв.1a	0-6,0	76,9	62,3	58,9	1,0	1,32	<0,05
Скв.5	0-7,0	79,4	121	96,7	0,9	0,5	<0,05
Скв.5	7,0-14,0	0,66	28,3	9,6	0,1	0,13	<0,05
Скв.5	14,-17,0	<0,001	5,3	0,2	<0,001	0,08	<0,05
Скв.1	0-10,0	58,7	81,3	62,3	1,72	2,3	<0,05
Скв.1	10,0-11,0	1,03	8,2	2,2	0,24	1,0	<0,05
Среднее	-	57,39	76,35	61,92	1,25	1,01	<0,05

ПДК,ОДК	-	0,5	33	20	32	55	2,1
---------	---	-----	----	----	----	----	-----

Оценку уровня загрязнения почвоподобной фракции проводили с помощью индексов суммарного показателя химического загрязнения Z_c без учета и с учетом токсичности металлов, рассчитанных на основе среднего арифметического и среднего геометрического значения. Индексы Z_c рассчитывали согласно формулам (1) -(4) [9]. В расчетах использованы средние значения концентраций элементов, имеющих превышения нормативных показателей: Cd, Ni и Cu.

Значение суммарного показателя химического загрязнения Z_c без учета коэффициента токсичности рассчитывали по формуле (1):

$$Z_c = \sum K_{ki} - (n - 1) \quad (1)$$

где K_{ki} - минимальные коэффициенты концентрации $K_{ki} = C_i C_{i\phi}$; n - число элементов, превышающих ПДК/ОДК; C_i - фактическое содержание i -го элемента в почве; $C_{i\phi}$ - фоновое содержание i -го элемента в почве.

В соответствии с Письмом Минприроды РФ № 04-25, Роскомзема № 61-5678 от 27.12.93 «О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами» фоновые уровни в зональных типах почв составляют для Cd – 0,16 мг/кг, Ni – 35 мг/кг и Cu – 20 мг/кг.

Значение суммарного показателя химического загрязнения с учетом коэффициента токсичности Z_{cT} рассчитывали по формуле (2):

$$Z_{cT} = \sum (K_{ki} \cdot K_{Ti}) - (n - 1) \quad (2)$$

где K_{Ti} - коэффициент токсичности i -го элемента в почве; K_{ki} - минимальные коэффициенты концентрации; n - число элементов, превышающих ПДК/ОДК.

Значение суммарного показателя химического загрязнения на основе среднего геометрического значения коэффициентов без учета токсичности элементов $Z_{c(\Gamma)}$ рассчитывали по формуле (3):

$$Z_c(\Gamma) = n(K_{K1} \cdot K_{K2} \cdot \dots \cdot K_{Kn})^{1/n} - (n - 1) \quad (3)$$

где K_{ki} - минимальные коэффициенты концентрации; n - число элементов, превышающих ПДК/ОДК.

Значение суммарного показателя химического загрязнения на основе среднего геометрического значения коэффициентов с учетом токсичности элементов $Z_{cT(\Gamma)}$ рассчитывали по формуле (4):

$$Z_{cT} = \sum((K_{k1} \cdot K_{T1}) \cdot (K_{k2} \cdot K_{T2}) \cdot \dots \cdot (K_{kn} \cdot K_{Tn}))^{1/n} - (n - 1) \quad (4)$$

где K_{Ti} - коэффициент токсичности i -го элемента в почве; K_{ki} - минимальные коэффициенты концентрации; n - число элементов, превышающих ПДК/ОДК.

Интерпретация значений суммарных показателей химического загрязнения представлена в таблице 2 [9].

Таблица 2

Оценочная шкала опасности загрязнения по суммарному показателю Z_c [9]

Значение показателя	Уровень загрязнения
$Z_c < 16$	Допустимый
$16 < Z_c < 32$	Умеренно опасный
$32 < Z_c < 128$	Опасный
$Z_c > 128$	Чрезвычайно опасный

Анализ полученных результатов показал (таблица 1), что содержание ртути, свинца и цинка значительно ниже утвержденных нормативов (СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»). Превышения нормативных значений (предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК)) в пробах отмечены для кадмия (1 класс опасности), никеля и меди (2 класс опасности).

Результаты расчета суммарных показателей химического загрязнения представлены на рис. 2. Согласно полученным данным уровень загрязнения почвоподобной фракции, определенный с помощью суммарных показателей химического загрязнения Z_c и Z_{cT} , характеризуется как чрезвычайно опасный. Учет токсичности элементов приводит к более высоким значениям показателя. Это обусловлено высоким содержанием наиболее токсичных элементов - 1 и 2 классов опасности.

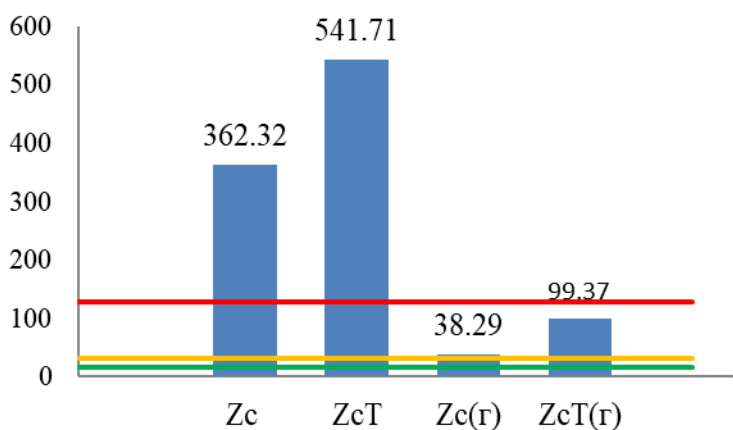
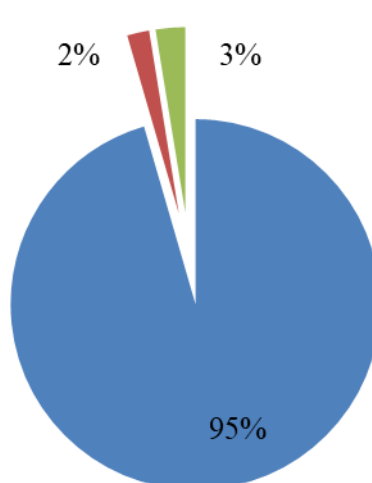


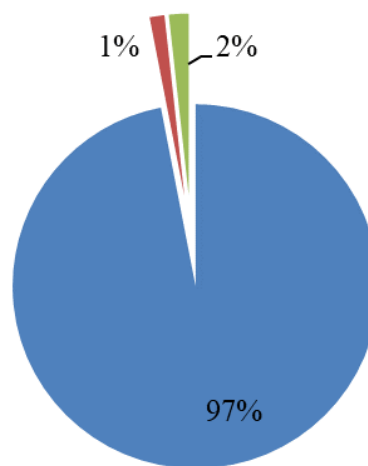
Рис. 2. – Рассчитанные для почвоподобной фракции свалки показатели суммарного химического загрязнения (красная, желтая, зеленая линии –

границы чрезвычайно опасного, опасного и умеренно опасного уровня
загрязнения)

Уровни загрязнения почвоподобной фракции, определенные с помощью $Z_{c(r)}$ и $Z_{cT(r)}$, характеризуются как опасные. Использование среднего арифметического суммарного показателя химического загрязнения в случае широкого разброса значений K_k приводит к завышенным результатам, поскольку результат зависит от небольшого числа максимальных величин [9]. Так как в последние годы для характеристики полиэлементного загрязнения почв применяют именно эти показатели [10, 11], считаем, что и при оценке уровня загрязнения почвоподобной фракции корректно будет использовать $Z_{c(r)}$ и $Z_{cT(r)}$. Использование среднего геометрического позволяет учесть вклад каждого элемента в загрязнение. Так, в соответствии с Z_c и Z_{cT} вклад в загрязнение вносит преимущественно кадмий, на долю никеля и меди приходится не более 5% (рис. 3) В соответствии с $Z_{c(r)}$ и $Z_{cT(r)}$ основной вклад в загрязнение вносит кадмий, однако и никель, и медь оказывают значительное воздействие (рис. 3).



a



b

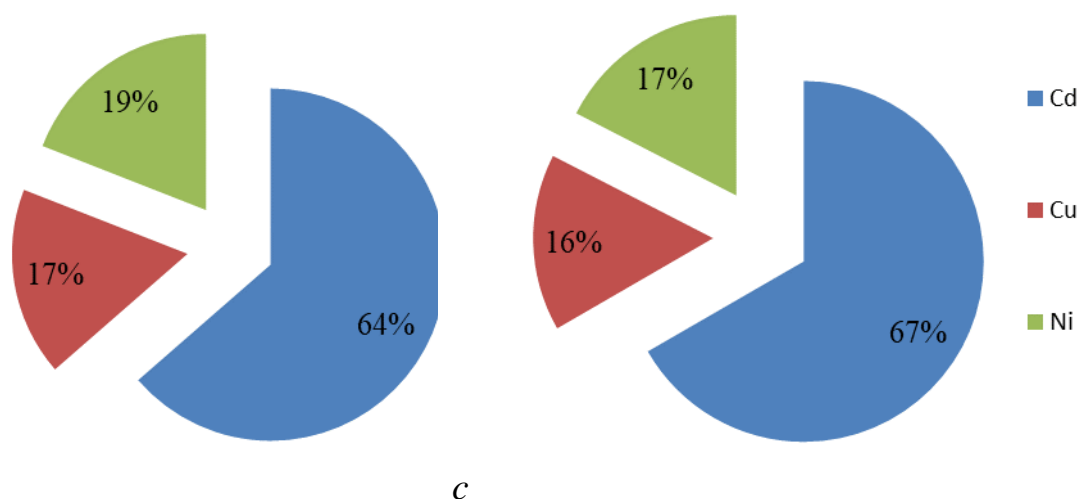


Рис. 3. – Вклад элементов в значение суммарного показателя химического загрязнения

$a - Z_c$, $b - Z_{cT}$, $c - Z_{c(T)}$, $d - Z_{cT(T)}$

Анализ полученных данных показал, что непосредственное использование почвоподобной фракции в качестве грунта-рекультиванта невозможно. Необходимо провести мероприятия по детоксикации.

Литература

1. Hogland W. Remediation of an old landfill: soil analysis, leachate quality and gas production // Environmental Science & Pollution Research International. 2002. Vol. 1. pp. 49-54.
2. Kurian J., Esakku S., Palanivelu K., Selvam A. Studies on landfill mining at solid waste dumpsites in India // Ninth International Waste Management and Landfill Symposium. In Proceedings Sardinia, Sardinia, Italy, 2003. Vol. 3, pp. 248-255.
3. Zhao, Y., Song, L., Huang, R., Song L., Li X. Recycling of aged refuse from a closed landfill // Waste Management and Research. 2007. 25(2). P. 130-138.

4. Слюсарь Н.Н., Загорская Ю.М., Ильиных Г.В. Изучение фракционного и морфологического состава отходов старых свалок и полигонов // Вест. ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2014. № 3. С. 77-85.

5. Пластинина А.Е., Попова Ю.А. Ресурсы старых свалок // Твердые бытовые отходы. 2016. № 2. С. 22-24.

6. Мишустин О.А., Хантимирова С.Б., Желтобрюхов В.Ф., Грачева Н.В., Селезнева Н.А., Сиволобова Н.О., Дородникова И.М. Оценка уровня негативного воздействия на компоненты природной среды несанкционированной свалки у п. Самофаловка Волгоградской области // Инженерный вестник Дона, 2019, № 9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2019/6176.

7. Калинин А.А., Грачева Н.В., Сиволобова Н.О., Селезнева Н.А. Исследование мелкой фракции свалочных масс свалки в границах г. Волгограда // Инженерный вестник Дона, 2021, № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/7378.

8. Медведев И.Ф., Деревягин С.С. Тяжелые металлы в экосистемах. Саратов: Ракурс, 2017. 178 с.

9. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. 86 с.

10. Angulo E. The Tomlinson pollution load index applied to heavy metal «Mussel-Watah» data: a useful index to assess coastal pollution // Sci. Tot. Environ. 1996. Vol. 187. P. 19-56.

11. Yang T., Liu Q., Chan L., Cao G. Magnetic investigation of heavy metals contamination in urban topsoils around the East Lake, Wuhan, China // Geophys. J. Int. 2007. Vol. 171. P. 603-612.

References

1. Hogland W. Environmental Science & Pollution Research International. 2002. Vol. 1. pp. 49-54.
 2. Kurian J., Esakku S., Palanivelu K., Selvam A. Ninth International Waste Management and Landfill Symposium. Margherita di Pula, Cagliari, Sardinia, Italy, 2003.
 3. Zhao, Y., Song, L., Huang, R., Song L., Li X. Waste Management and Research. 2007. 25(2). pp. 130-138.
 4. Sljusar' N.N., Zagorskaja Ju.M., Il'inyh G.V. Vest. PNIPU. Prikladnaja jekologija. Urbanistika. 2014. № 3. pp. 77-85.
 5. Plastinina A.E., Popova Ju.A. Tverdye bytovye othody. 2016. № 2. pp. 22-24.
 6. Mishustin O.A., Hantimirova S.B., Zheltobrjuhov V.F., Gracheva N.V., Selezneva N.A., Sivolobova N.O., Dorodnikova I.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, № 9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2019/6176.
 7. Kalinin A.A., Gracheva N.V., Sivolobova N.O., Selezneva N.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/7378.
 8. Medvedev I.F., Derevjagin S.S. Tjzhelye metally v jekosistemah [Heavy metals in ecosystems]. Saratov: Rakurs, 2017. 178 p.
 9. Vodjanickij Ju.N. Tjzhelye metally i metalloidy v pochvah [Heavy metals and metalloids in soils]. M.: GNU Pochvennyj institut im. V.V. Dokuchaeva RASHN, 2008. 86 p.
 10. Angulo E. Sci. Tot. Environ. 1996. Vol. 187. pp. 19-56.
 11. Yang T., Liu Q., Chan L., Cao G. Geophys. J. Int. 2007. Vol. 171. pp. 603-612.
-

