

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2023, Том 10, № 4 / 2023, Vol. 10, Iss. 4 <https://resources.today/issue-4-2023.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/05NZOR423.pdf>

DOI: 10.15862/05NZOR423 (<https://doi.org/10.15862/05NZOR423>)

1.6.21. Геоэкология (географические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Богданов, А. В. Особенности загрязнения почвогрунтов промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» тяжелыми металлами / А. В. Богданов, А. С. Шатрова, А. И. Шкрабо, Н. П. Коновалов // Отходы и ресурсы. — 2023. — Т. 10. — № 4. — URL: <https://resources.today/PDF/05NZOR423.pdf> DOI: 10.15862/05NZOR423

For citation:

Bogdanov A.V., Shatrova A.S., Shkrabo A.I., Konovalov N.P. Features of soil contamination of the industrial site of the former battery plant «Vostsibelement» with heavy metals. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2023; 10(4): 05NZOR423. Available at: <https://resources.today/PDF/05NZOR423.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/05NZOR423

УДК 504.054

Богданов Андрей Викторович

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Иркутск, Россия
Профессор кафедры «Обогащения полезных ископаемых и инженерной экологии»

Доктор технических наук, профессор

E-mail: bogdanovav@istu.edu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7519-1126>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=525986

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56450174100>

Шатрова Анастасия Сергеевна

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Иркутск, Россия
Научный сотрудник Лаборатории экологического мониторинга природных и техногенных сред

Кандидат технических наук

E-mail: shatrova.irk@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8054-1680>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=734723

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57198776275>

Шкрабо Анна Ивановна

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Иркутск, Россия
Научный сотрудник Лаборатории экологического мониторинга природных и техногенных сред

E-mail: bogdanov.lab@istu.edu

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1041080

Коновалов Николай Петрович

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Иркутск, Россия
Заведующий кафедрой «Физики»

Доктор технических наук, профессор

E-mail: knp@ex.istu.edu

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=691849

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7003385223>

Особенности загрязнения почвогрунтов промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» тяжелыми металлами

Аннотация. В статье представлены исследования по оценке загрязнения тяжелыми металлами почвогрунтов промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент», расположенного в Муниципальном образовании «город Свирск» Иркутской области. В настоящее время на промплощадке площадью 33 га располагаются развалины цехов и строительный мусор, техногенный почвогрунт, загрязненный тяжелыми металлами, а также отходы неустановленного происхождения, которые загрязняют объекты окружающей среды. В пробах почвогрунтов, отобранных на промплощадке было зафиксировано превышение ориентировочно допустимых концентраций валовых форм металлов по свинцу до 862 раз, по цинку до 42 раз, по меди до 24 раз, по никелю до 2,8 раз и по мышьяку до 52 раз, а предельно-допустимых концентраций по ртути до 3,2 раз, по марганцу до 3 раз. Авторами по полученным результатам количественного химического анализа проб почв были рассчитаны коэффициенты корреляции с использованием рангового коэффициента корреляции Спирмена. Установлены наибольшие корреляционные связи между ртутью и цинком (0,78), свинцом и марганцем (0,76), медью и марганцем (0,75), цинком и марганцем (0,72), свинцом и цинком (0,71), цинком и медью (0,68) и свинцом и медью (0,65), при этом полученные значения говорят о их высокой степени тесной связи. На основании полученных результатов перераспределения тяжелых металлов в исследуемых почвогрунтах и наличия аномальных зон загрязнения промплощадки авторами предложено два взаимодополняющих технических решения по ее рекультивации. Первое техническое решение — регулирование подвижности тяжелых металлов в умеренно загрязненных почвах промплощадки посредством использования почвогрунта-сорбента из вымороженного коллоидного осадка шлам-лигнина. Второе техническое решение — рекультивация техногенных почвогрунтов с аномальным содержанием тяжелых металлов посредством рекуперации металлического свинца воздушной сепарацией.

Ключевые слова: тяжелые металлы; бывший аккумуляторный завод «Востсибэлемент»; коэффициенты корреляции; почвогрунты; загрязнение; аккумуляторная промышленность; рекультивация

Введение

Загрязнение почв тяжелыми металлами можно отнести к одной из самых актуальных экологических проблем Российской Федерации. Почвы, в свою очередь, являются природными накопителями тяжелых металлов в окружающей среде, а также основным источником загрязнения сопредельных сред, в том числе высших растений. Тяжелые металлы могут находиться в почве в различных фазах, например в почвенном растворе (водная фаза) они присутствуют в форме свободных катионов и ассоциатов с компонентами раствора, в твердой фазе почвы они находятся в форме обменных катионов и поверхностных комплексных соединений, в виде примесей глинистых минералов, в форме собственных минералов, устойчивых осадков малорастворимых солей [1].

Загрязнение почвы тяжелыми металлами также приводит к риску для здоровья человека, загрязнению грунтовых вод, фитотоксичности растений и снижению урожайности сельскохозяйственных культур и почвы. Абсорбция тяжелых металлов через корни растений является основным путем проникновения тяжелых металлов в пищевую цепь, а их последовательное скопление в пищевой цепи представляет собой критическую угрозу для здоровья животных и человека [2].

В государственном докладе «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году» сказано, что за период 2012–2021 гг. к опасной категории загрязнения почв тяжелыми металлами отнесено 4,3 %, к умеренно опасной категории — 9,2 % обследованных населенных пунктов. Почвы 86,5 % населенных пунктов (в среднем) по суммарному показателю загрязнения почв ($Z_{\text{ф}}$) относятся к допустимой категории загрязнения тяжелыми металлами, однако отдельные участки почв обследованных территорий могут иметь более высокую категорию загрязнения. Также, по результатам наблюдений в 2012–2021 гг. по показателю загрязнения $Z_{\text{ф}}$ ($32 \leq Z_{\text{ф}} < 128$) — индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения — к опасной категории загрязнения почв металлами относятся почвы участка многолетних наблюдений МО «г. Свирск» ($Z_{\text{ф}} = 54$) Иркутской области, почвы г. Норильска Красноярского края ($Z_{\text{ф}} = 123$), почвы двухкилометровой зоны от ОАО «Электроцинк» в г. Владикавказе ($Z_{\text{ф}} = 112$), почвы однокилометровой зоны от ОАО «Среднеуральский медеплавильный завод» в г. Ревда ($Z_{\text{ф}} = 52$), почвы городов Кировград ($Z_{\text{ф}} = 46$) и Реж ($Z_{\text{ф}} = 49$) Свердловской области, почвы спецназначения ул. Науки г. Дзержинска Нижегородской обл. ($Z_{\text{ф}} = 63$), почвы Кировского района г. Новосибирска ($Z_{\text{ф}} = 65$).

Одним из источников загрязнения окружающей среды является аккумуляторная промышленность. Заводы по производству и переработке свинцовых аккумуляторов по всему миру были признаны основными источниками загрязнения почвы, которые способствуют губительному воздействию свинца и других тяжелых металлов на окружающую среду. Крупный аккумуляторный завод может поставлять в атмосферу до нескольких сотен тонн различных поллютантов в год. Объемы отводимых сточных вод достигают 800–1 000 тыс. м³/год. Пыль, образующаяся в ходе технологических процессов, содержит очень высокие концентрации Sb, Hg, Bi, Pb, Cd, Sn, Ni, As и других элементов. В сточных водах производств присутствуют значительные количества взвешенных веществ, кислот, щелочей, Fe, Cd, Pb, Ni, Zn, Sb. Твердые отходы характеризуются присутствием Pb, Cd, Sb, Zn, Ni [3]. При этом восстановление почв пострадавших населенных пунктов вокруг таких предприятий является сложным и дорогостоящим мероприятием, которое часто откладывается на годы из-за отсутствия юридически ответственной стороны, которая могла бы оплатить очистку.

В Иркутской области таким объектом накопленного существенного вреда окружающей среде вследствие загрязнения тяжелыми металлами является промплощадка бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент», которая расположена в черте МО «г. Свирск» в водоохранной зоне реки Ангара (рис. 1).



река Ангара

Рисунок 1. Космическая съемка расположения промплощадки бывшего завода «Востсибэлемент» МО «г. Свирск» (составлено авторами из космической съемки google)

В настоящее время на промплощадке площадью 33 га располагаются развалины цехов и строительный мусор (105 тыс. м куб.), техногенный почвогрунт, загрязненный тяжелыми металлами (110 тыс. м куб.), а также отходы неустановленного происхождения (20 тыс. м куб.) (рис. 2) [4].



Рисунок 2. Развалины цехов бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент», Иркутская область, МО «г. Свирск», 2021 г. (фотографии авторов)

В статье представлены результаты по оценке воздействия накопленных отходов промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» на объекты окружающей среды и предложены технологические решения по её рекультивации.

Материалы и методы

Почвы с территории промплощадки «Востсибэлемент» отбирались по ГОСТ 17.4.3.01-2017 «Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к отбору проб» и ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» методом «конверта» с двух глубин 0–5 см и 5–20 см.

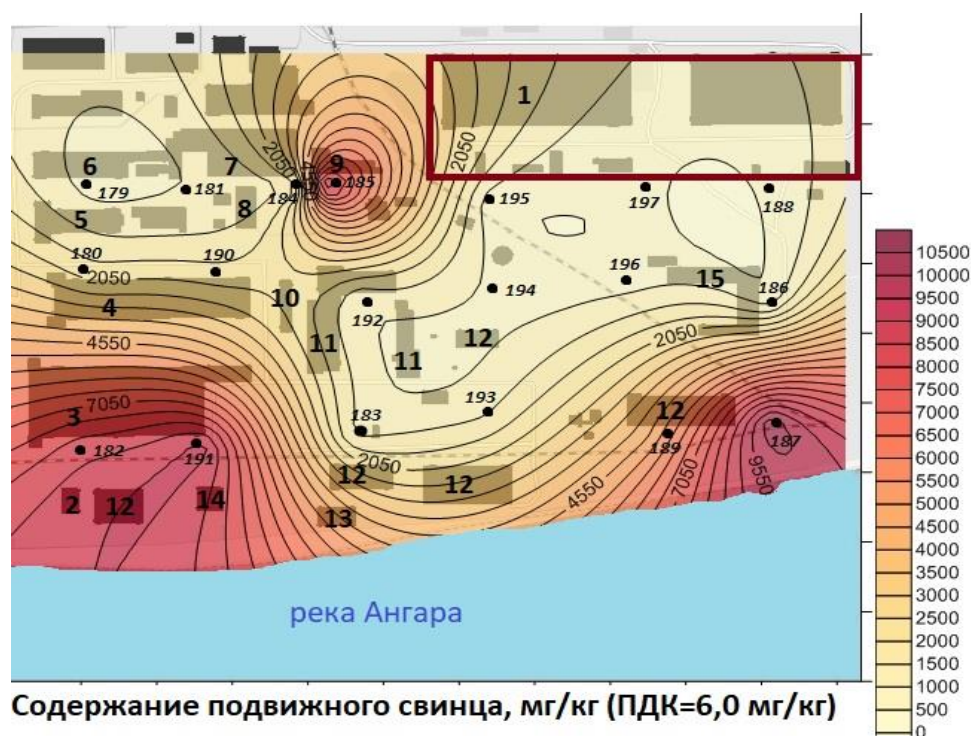
Количественный химический анализ отобранных проб осуществлялся по аттестованным методикам на современном оборудовании в аккредитованной лаборатории экологического мониторинга природных и техногенных сред (РОСС RU.0001.518897) ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет». В связи со спецификой работы бывшего завода «Востсибэлемент», основными показателями для определения степени загрязнения являлись валовые и подвижные содержания тяжелых металлов (свинец, медь, цинк, ртуть и другие) и мышьяка, также для классификации почв выполнялось измерение рН водной и солевой вытяжки.

Валовые формы тяжелых металлов и мышьяка определялись по методам атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной аргонной плазмой на приборе ICP-AES-9000 по методике ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98 «Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой», для чего тяжелые металлы в образцах переводили в раствор путем их растворения в смеси концентрированных кислот при высоких температурах. Определение валовых форм ртути осуществлялось методом атомизации содержащейся в пробе ртути в двухсекционном пиролизаторе приставки РП-91С и последующем ее определении методом беспламенной атомной абсорбции на анализаторе ртути РА-915М по методике ПНД Ф 16.1:2.23-2000 «Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли общей ртути в пробах почв и грунтов на анализаторе ртути «РА-915+» с приставкой «РП-91С»».

По полученным результатам с помощью программы «Surfer» была построена схема распределения подвижного свинца в почве промплощадки бывшего завода «Востсибэлемент» (рис. 3) [5].

программное обеспечение «Surfer», разработанное компанией «Golden Software Inc.», предназначено для построения растровых моделей на основе наблюдений в отдельных точках пространства и последующего анализа полученных моделей. В качестве алгоритмов интерполяции был выбран метод Крикинга (Kriging), который считается самым оптимальным и подходящим для решения большинства задач [6–8].

Кригинг является геостатистическим методом и строит статистическую модель реальности. Данный способ построения учитывает пространственную корреляцию данных и дает возможность получать оценку точности этих моделей.



●179 — точки отбора проб; 1 — действующее предприятие ООО «АкТех»; 2–15 позиции — развалины цехов промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент»

Рисунок 3. Схема распределения подвижного свинца в почве промплощадки бывшего завода «Востсибэлемент» (источник рисунка [5])

По построенной схеме распределения подвижного свинца на территории промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» было выявлено три участка с аномально большим содержанием подвижных форм свинца (более 6 000 мг/кг). Первый участок расположен в точке 185 (аккумуляторное производство: изготовление свинцово — кислотных аккумуляторов: цех № 2, позиция 9.

Второй участок точка 187 — крайний правый по течению реки Ангара участок промплощадки, расположенный вдоль береговой линии, позиция 12. Третий участок расположен в начале промплощадки, по течению реки, точки 182 и 191, позиции 3, 12 и 14. При этом на всей территории промплощадки содержание подвижного свинца в поверхностном слое (0–20 см) не опускается ниже 100 мг/кг, что выше ПДК в 17 раз [5].

Результаты и обсуждение

Для общей оценки степени загрязнения почвогрунтов промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» были определены валовые содержания тяжелых металлов, которые наиболее характерны для данного производства (мышьяк, свинец, ртуть, цинк, медь, никель и марганец). Полученные результаты были сравнены с нормативами, указанными в СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» — предельно-допустимая концентрация (ПДК) и ориентировочно-допустимая концентрация (ОДК) для близких к нейтральным, нейтральным (суглинистые и глинистые) почвам с $pH_{KCl} > 5,5$, таблица 1.

Таблица 1

Валовое содержание тяжелых металлов в почвогрунтах промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент»

| № проб | As, мг/кг (ОДК 10 мг/кг) | Pb, мг/кг (ОДК 130 мг/кг) | Hg, мг/кг (ПДК 2,1 мг/кг) | Zn, мг/кг (ОДК 220 мг/кг) | Cu, мг/кг (ОДК 132 мг/кг) | Ni, мг/кг (ОДК 80 мг/кг) | Mn, мг/кг (ПДК 1 500 мг/кг) |
|--------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 1 | 29,3 | 32 115 | 0,31 | 1 687 | 211 | 70,4 | 1 140 |
| 2 | 124 | 112 000 | 0,47 | 680 | 85,9 | 45,4 | 2 012 |
| 3 | 24,2 | 7 700 | 0,82 | 542 | 147 | 60,2 | 1 382 |
| 4 | 11,8 | 40,7 | 0,052 | 90,6 | 45,6 | 141 | 996 |
| 5 | 12,9 | 81 447 | 0,52 | 652 | 124 | 76,2 | 1 542 |
| 6 | 40,1 | 18 725 | 0,86 | 418 | 241 | 142 | 1 201 |
| 7 | 12,8 | 5 219 | 1,32 | 557 | 92,3 | 60,0 | 1 135 |
| 8 | 33,8 | 19 412 | 2,69 | 2 825 | 182 | 91,9 | 2 615 |
| 9 | 516 | 69 120 | 0,28 | 511 | 3 115 | 225 | 4 489 |
| 10 | 28,6 | 2 202 | 0,79 | 311 | 65,3 | 67,9 | 1 442 |
| 11 | 26,2 | 17 700 | 6,83 | 9 215 | 765 | 136 | 2 900 |
| 12 | 2,3 | 103 000 | 0,88 | 1 840 | 242 | 58,9 | 3 810 |
| 13 | 6,1 | 5 759 | 3,90 | 1 225 | 206 | 57,9 | 1 696 |
| 14 | 7,0 | 258 | 0,21 | 128 | 48,3 | 56,2 | 621 |
| 15 | 5,9 | 18,4 | 0,026 | 88,3 | 62,1 | 48,3 | 887 |
| 16 | 6,7 | 17,1 | 0,032 | 84,8 | 68,1 | 44,5 | 901 |

Составлено авторами

Как видно из таблицы, в отобранных пробах превышение нормативных значений ориентировочно допустимых концентраций составило по свинцу в 2–862 раз, мышьяку в 1,2–52 раза, по цинку в 1,4–42 раза, по меди в 1,1–24 раза, по никелю в 1,1–2,8 раз, предельно-допустимых концентраций по ртути в 1,2–3,2 раза, по марганцу в 1,1–3 раза. При этом рассчитанный суммарный показатель загрязнения $Z_c > 128$, что свидетельствует о чрезвычайно опасной категории химического загрязнения почв.

По полученным результатам количественного химического анализа представительных проб почв промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» были рассчитаны коэффициенты корреляции. Так как распределение содержания изученных металлов в почвогрунтах промплощадки ввиду их техногенного происхождения было отлично от нормального, то расчёт вели с использованием рангового коэффициента корреляции Спирмена [9] по формуле:

$$r_s = 1 - \frac{6\sum(R_x - R_y)^2}{n(n^2 - 1)},$$

где r_s — коэффициент Спирмена; R_x и R_y — ранги значений содержания тяжелых металлов в образцах почвы; n — число наблюдений.

Для каждого значения валовых концентрации тяжелых металлов был присвоен свой ранг, где ранг 1 означает наименьшее значение, а 16 наибольшее.

В таблице 2 приведены ранги для значений содержания тяжелых металлов в образцах почвогрунтов промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент».

Таблица 2

Присвоенные ранги значений содержания тяжелых металлов в образцах почвогрунтов

| № проб | Тяжёлые металлы | | | | | | |
|--------|-----------------|----|----|----|----|----|----|
| | As | Pb | Hg | Zn | Cu | Ni | Mn |
| 1 | 12 | 12 | 6 | 13 | 12 | 10 | 6 |
| 2 | 15 | 16 | 7 | 11 | 6 | 2 | 12 |
| 3 | 9 | 8 | 10 | 8 | 7 | 8 | 8 |
| 4 | 6 | 3 | 3 | 3 | 1 | 14 | 4 |
| 5 | 8 | 14 | 8 | 10 | 8 | 11 | 10 |
| 6 | 14 | 10 | 11 | 6 | 13 | 15 | 7 |
| 7 | 7 | 6 | 13 | 9 | 7 | 7 | 5 |
| 8 | 13 | 11 | 14 | 15 | 10 | 12 | 13 |
| 9 | 16 | 13 | 5 | 7 | 16 | 16 | 16 |
| 10 | 11 | 5 | 9 | 5 | 4 | 9 | 9 |
| 11 | 10 | 9 | 16 | 16 | 15 | 13 | 14 |
| 12 | 1 | 15 | 12 | 14 | 14 | 6 | 15 |
| 13 | 3 | 7 | 15 | 12 | 11 | 5 | 11 |
| 14 | 5 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 1 |
| 15 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 |
| 16 | 4 | 1 | 2 | 1 | 5 | 1 | 3 |

Составлено авторами

На основании полученных данных таблицы 2 были рассчитаны коэффициенты корреляции Спирмена между исследуемыми металлами (табл. 3). Если значение $r_s = \pm 1$, то связь между параметрами функциональна, значение r_s от -0,3 до 0 или от 0 до 0,3 — показатели слабой тесноты связи, значение r_s от -0,6 до -0,3 или от 0,3 до 0,6 — показатели умеренной тесноты связи, значение r_s от -1 до -0,6 или от 0,6 до 1 — показатели высокой тесноты связи, значение $r_s = 0$ — связь отсутствует. В таблице представлена матрица коэффициентов корреляции тяжелых металлов в почвогрунтах промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент».

Таблица 3

Матрица коэффициентов корреляции

| Химический элемент | As | Pb | Hg | Zn | Cu | Ni | Mn |
|--------------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|-----|
| As | 1,0 | | | | | | |
| Pb | 0,51 | 1,0 | | | | | |
| Hg | 0,14 | 0,38 | 1,0 | | | | |
| Zn | 0,24 | 0,71 | 0,78 | 1,0 | | | |
| Cu | 0,36 | 0,65 | 0,57 | 0,68 | 1,0 | | |
| Ni | 0,56 | 0,29 | 0,26 | 0,23 | 0,48 | 1,0 | |
| Mn | 0,41 | 0,76 | 0,59 | 0,72 | 0,75 | 0,39 | 1,0 |

Составлено авторами

Установлены наибольшие корреляционные связи между ртутью и цинком (0,78), свинцом и марганцем (0,76), медью и марганцем (0,75), цинком и марганцем (0,72), свинцом и цинком (0,71), цинком и медью (0,68) и свинцом и медью (0,65). Так как указанные значения находятся в диапазоне от 0,6 до 1, то это говорит о их высокой степени тесной связи.

Полученные корреляционные коэффициенты между металлами обусловлены характером деятельности бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент», так как на территории предприятия работало несколько технологических линий: изготовление электроуглей для элементной промышленности и киноуглей для проекционных установок, изготовление свинцово — кислотных аккумуляторов и изготовление гальванических элементов и батарей марганцево-цинковой системы. Например, в марганцево-цинковой системе в электролиты для пастовых диафрагм, соприкасающихся с цинковым электродом, с целью снижения саморазряда вводили от 5 до 15 г/л хлорида Hg (II) — сулемы (в данном случае ртуть контактно осаждается на поверхности цинка и амальгамирует ее), а в щелочных марганцево-цинковых источниках тока ртуть применялась для амальгамации цинка (содержали до 10 % ртути) [10]. Отсутствие высокой связи (более 0,6) у мышьяка, но его высокое содержание в почвогрунтах промплощадки может быть связано с его эмиссией с другого предприятия — бывшего Ангарского металлургического завода, расположенного в двух километрах выше по направлению преобладающей розе ветров.

На основании полученных данных были построены графики распределения содержания между корреляционными металлами и рассчитаны их корреляционные зависимости. Наибольшая положительная корреляция наблюдается между ртутью и цинком (рис. 4) (коэффициент корреляции 0,78), при этом наличие выпадения некоторых точек говорит о неоднородности значений, что вполне объяснимо неоднородным техногенным поступлением загрязняющих веществ в почвогрунты.

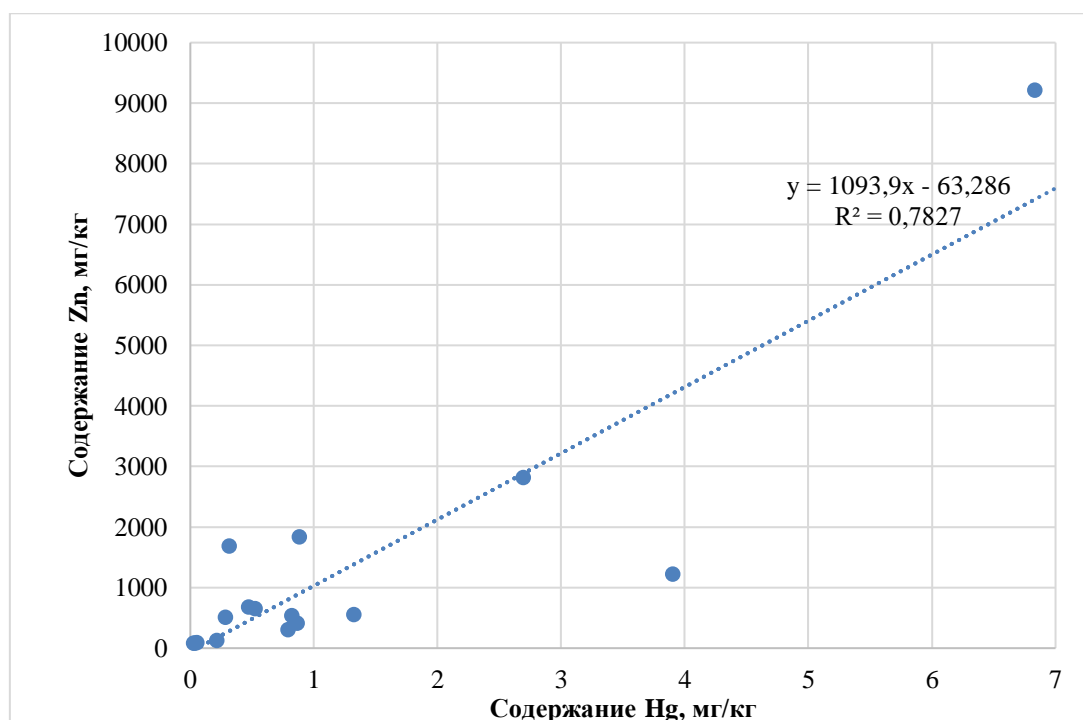


Рисунок 4. График распределения содержания цинка от ртути (составлено авторами)

На основании данных полученных результатов перераспределения тяжелых металлов в исследуемых почвогрунтах и наличия аномальных зон загрязнения промплощадки предложено специфическое техническое решение по ее рекультивации.

Известно, что универсального метода очистки почв от тяжелых металлов не существует, так как эффективность метода зависит от свойств почвы, количеств и форм содержания соединений тяжелых металлов в почвах. В случае, если концентрация тяжелых металлов незначительно превышает гигиенические нормативы, целесообразно использовать следующие

методы рекультивации: культивирование устойчивых к загрязнению культурных и дикорастущих растений или проведение фиторекультивации с помощью растений, способных накапливать тяжелые металлы в вегетативных органах. Однако, при высоких содержаниях тяжелых металлов данные методы не эффективны. Поэтому для высокого содержания тяжелых металлов в почвах, как правило используют физико-химическую обработку или ограничительные методы, что с технико-экономической точки зрения высокзатратно и не всегда целесообразно, к тому же, в связи с высоким классом опасности данных почвогрунтов накладываются определенные ограничения по их вывозке и складированию. Применение физико-химических методов загрязненных почв, как правило, не распространено в связи с их высокой стоимостью, необходимостью специализированного оборудования и химических веществ, которые способны вторично загрязнять объекты окружающей среды, а также длительностью и трудоемкостью процесса [11]. Поэтому разработка рекультивации техногенных почвогрунтов с неравномерным и аномальным содержанием тяжелых металлов является крайне актуальной задачей.

Для решения данной проблемы в зависимости от содержания тяжелых металлов в почвогрунтах промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» предлагается два взаимодополняющих технических решения.

Первое техническое решение — регулирование подвижности тяжелых металлов в умеренно загрязненных почвах промплощадки посредством использования почвогрунта-сорбента, полученного из вымороженного коллоидного осадка шлам-лигнина ОАО «Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат». Данный почвогрунт соответствует ГОСТ 54534-2011 «Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при использовании для рекультивации нарушенных земель», имеет торфообразную структуру и большое содержание органических веществ (до 70 %), которые обладают высоким сорбционным средством к тяжелым металлам, содержит питательные для растений вещества, фосфор, азот, и не уступает таким природным сорбентам, как торф и глина [12].

Второе техническое решение — рекультивация техногенных почвогрунтов с аномальным содержанием тяжелых металлов посредством рекуперации металлического свинца воздушной сепарацией. Данный способ состоит из двух основных процессов — классификации техногенных почвогрунтов по крупности и плотности фракций на барабанных ситах с целью извлечения продуктивного класса крупности фракции и его воздушной и магнитной сепарации с целью получения ценного товарного продукта — металлического свинца.

Таким образом, в статье дана экологическая оценка состояния почвогрунтов, рассчитаны коэффициенты корреляции тяжелых металлов и предложено два возможных дополняющих друг друга технических решения проблемы рекультивации почв промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент».

ЛИТЕРАТУРА

1. Казакова Н.А. Загрязнение почвы тяжелыми металлами / Н.А. Казакова // Вестник Ульяновской сельскохозяйственной академии. — 2009. — № 1(8). — С. 29–31.
2. Nyiramigisha P. Harmful Impacts of Heavy Metal Contamination in the Soil and Crops Grown Around Dumpsites / P. Nyiramigisha, Komariah, Sajidan // Reviews in Agricultural Science. — 2021. — Vol. 9. — P. 271–282.

3. Янин Е.П. Эколого-геохимические аспекты воздействия аккумуляторной промышленности на окружающую среду / Е.П. Янин // Ресурсосберегающие технологии. — 2002. — № 18. — С. 3–33.
4. Богданов А.В. Оценка воздействия промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» Иркутской области на объекты окружающей среды / А.В. Богданов, А.С. Шатрова, О.В. Тюкалова — DOI 10.18412/1816-0395-2022-3-52-57 // Экология и промышленность России. — 2022. — Т. 26. — № 3. — С. 52–57.
5. Богданов А.В. Технологические решения рекультивации промплощадки бывшего аккумуляторного завода «Востсибэлемент» / А.В. Богданов, А.И. Шкрабо, А.С. Шатрова — DOI 10.21285/2686-9993-2023-46-1-84-96 // Науки о Земле и недропользование. — 2023. — Т. 46, № 1(82). — С. 84–96.
6. Cressie N.A.C. The Origins of Kriging / N.A.C. Cressie // Mathematical Geology. — 1990. — Vol. 22. — P. 239–252.
7. Новикова А.М. Об опыте использования метода кригинга в программах Surfer и QGIS для морских климатических исследований / А.М. Новикова, А.А. Котолупова // Системы контроля окружающей среды. — 2016. — № 6(26). — С. 59–67.
8. Кошель С.М. Методы цифрового моделирования: кригинг и радиальная интерполяция / С.М. Кошель, О.Р. Мусин // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. — 2001. — № 2(29)–3(30). — С. 23–24.
9. Корнилова А.С. Метод ранговой корреляции и его применение / А.С. Корнилова, Р.А. Никонова, Д.Р. Дрягина // Современные инновации: теоретический и практический взгляд: сборник научных трудов по материалам VIII Международной научно-практической конференции, Москва, 21–22 января 2018 года / Москва: Проблемы науки, 2018. — С. 52–53.
10. Бессонов В.В. Ртутьсодержащие приборы и устройства: экологические аспекты производства и использования / В.В. Бессонов, Янин Е.П. — М.: ИМГРЭ, 2004. — 52 с.
11. Хомич В.С. Проблемы обращения с городскими почвами, загрязненными нефтепродуктами и тяжелыми металлами / В.С. Хомич, С.В. Савченко, В.А. Рыжиков // Природопользование. — 2019. — № 1. — С. 76–90.
12. Шатрова, А.С. Использование почвогрунтов из осадков шлам-лигнина в качестве сорбента тяжёлых металлов при рекультивации загрязненных земель / А.С. Шатрова, А.В. Богданов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2022. — № 4. — С. 52–64.

Bogdanov Andrei Viktorovich

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
E-mail: bogdanovav@istu.edu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7519-1126>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=525986

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56450174100>

Shatrova Anastasiya Sergeevna

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
E-mail: shatrova.irk@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8054-1680>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=734723

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57198776275>

Shkrabo Anna Ivanovna

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
E-mail: bogdanov.lab@istu.edu

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1041080

Konovalov Nikolai Petrovich

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
E-mail: knp@ex.istu.edu

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=691849

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7003385223>

Features of soil contamination of the industrial site of the former battery plant «Vostsibelement» with heavy metals

Abstract. The article presents research to assess the contamination of heavy metals in the soils of the industrial site of the former battery plant «Vostsibelement», located in the municipal formation «city of Svirsk» of the Irkutsk region. Currently, the industrial site with an area of 33 hectares contains the ruins of workshops and construction waste, technogenic soil contaminated with heavy metals, as well as waste of unknown origin that pollutes the environment. In soil samples taken at the industrial site, an excess of approximately permissible concentrations of gross forms of metals was recorded for lead up to 862 times, for zinc up to 42 times, for copper up to 24 times, for nickel up to 2,8 times and for arsenic up to 52 times, and the maximum — permissible concentrations for mercury up to 3,2 times, for manganese up to 3 times. Based on the results of quantitative chemical analysis of soil samples, the authors calculated correlation coefficients using Spearman's rank correlation coefficient. The greatest correlations were established between mercury and zinc (0,78), lead and manganese (0,76), copper and manganese (0,75), zinc and manganese (0,72), lead and zinc (0,71), zinc and copper (0,68) and lead and copper (0,65), while the obtained values indicate their high degree of close connection. Based on the results obtained of the redistribution of heavy metals in the studied soils and the presence of anomalous zones of contamination of the industrial site, the authors proposed two complementary technical solutions for its reclamation. The first technical solution is to regulate the mobility of heavy metals in moderately contaminated soils of an industrial site through the use of sorbent soil from frozen colloidal sludge-lignin sediment. The second technical solution is the reclamation of technogenic soils with abnormal content of heavy metals through the recovery of metal lead by air separation.

Keywords: heavy metals; former Vostsibelement battery plant; correlation coefficients; soils; pollution; battery industry; reclamation