

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 504.1(571.55)

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ПОЧВАХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ГОРНОРУДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ
ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ**

© 2022 г. Б. Н. Абрамов^{1,*}, Т. Г. Цыренов^{1,**}

¹ Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН,
ул. Недорезова, 16, Чита, 672002 Россия

*E-mail: b_abramov@mail.ru

**E-mail: master.of.pistols@mail.ru

Поступила в редакцию 05.04.2022 г.

После доработки 04.07.2022 г.

Принята к публикации 20.07.2022 г.

Установлены закономерности распределения токсичных элементов в почвах населенных пунктов горнорудных районов Восточного Забайкалья. Проведен сравнительный анализ распределения токсичных элементов в почвах селитебных территорий, хвостохранилищах и фоновых участках в районах отработанных и обрабатываемых месторождений золота, полиметаллов, олова и молибдена. Элементный состав определялся с использованием рентгенофлуоресцентного и ICP-MS методов исследования в аналитических лабораториях Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ) и ICP-MS ЗАО “SGS Vostok Limited” (г. Чита). Пробы для фоновых концентраций элементов в почвах отобраны вне зоны влияния техногенных объектов в водораздельных частях ландшафтов. Установлено, что в почвах горнорудных поселков и в техноземах хвостохранилищ отмечается уменьшение содержания токсичных элементов от I класса к III классу опасности. Определено, что опасной степенью загрязнения характеризуются почвы г. Балей ($Z_c = 81.5$). Высокая степень загрязнения характерна для почв градообразующих поселков при горно-обогатительных комбинатах отработанных полиметаллических и молибденовых месторождений: Новый Акатуй ($Z_c = 56.8$), Вершино-Шахтаминский ($Z_c = 40.8$), Горный Зерентуй ($Z_c = 38.8$). Средняя степень опасности загрязнения почв отмечается в населенном пункте Шерловая Гора при ГОКе Шерловогорского оловополиметаллического месторождения ($Z_c = 25.5$). Низкий уровень загрязнения почв отмечается в пос. Жирекен ($Z_c = 9$) при ГОКе Жирекенского молибденового месторождения. Выявлено, что степень загрязнения почв населенных пунктов увеличивается по мере уменьшения расстояния от них хвостохранилищ.

Ключевые слова: почвы населенных пунктов, техноземы хвостохранилищ, токсичные элементы, суммарная степень загрязнения, Восточное Забайкалье

DOI: 10.31857/S0869780922050022

ВВЕДЕНИЕ

Восточное Забайкалье относится к числу российских регионов, обладающих значительными сырьевыми ресурсами цветных и драгоценных металлов. Рудные месторождения в Забайкалье начали обрабатываться с 1879 г. небольшими рудниками [2, 11]. На территории Забайкальского края известно более 1000 рудопроявлений и месторождений золота, молибдена, олова, редкометалльных и полиметаллических месторождений (рис. 1).

Природно-техногенный комплекс (ПТК) рудных месторождений включает природные и техногенные (созданные человеком) составляющие окружающей среды. В качестве техногенных объектов в настоящей работе рассматриваются тер-

ритории, измененные в результате деятельности горно-обогатительных комбинатов (ГОК) на отработанных и эксплуатирующихся месторождениях.

Масштабная добыча полезных ископаемых привела к формированию на территориях действующих и прекративших свою деятельность горнорудных комбинатов значительных по объемам техногенных образований. При этом наиболее опасное воздействие на окружающую среду оказывают продукты переработки горнорудных комбинатов, складированные в хвостохранилища [12–18]. Содержащиеся в них токсичные химические элементы подвергаются химической и биологической трансформации, что приводит к их интенсивной миграции и накоплению в почве и

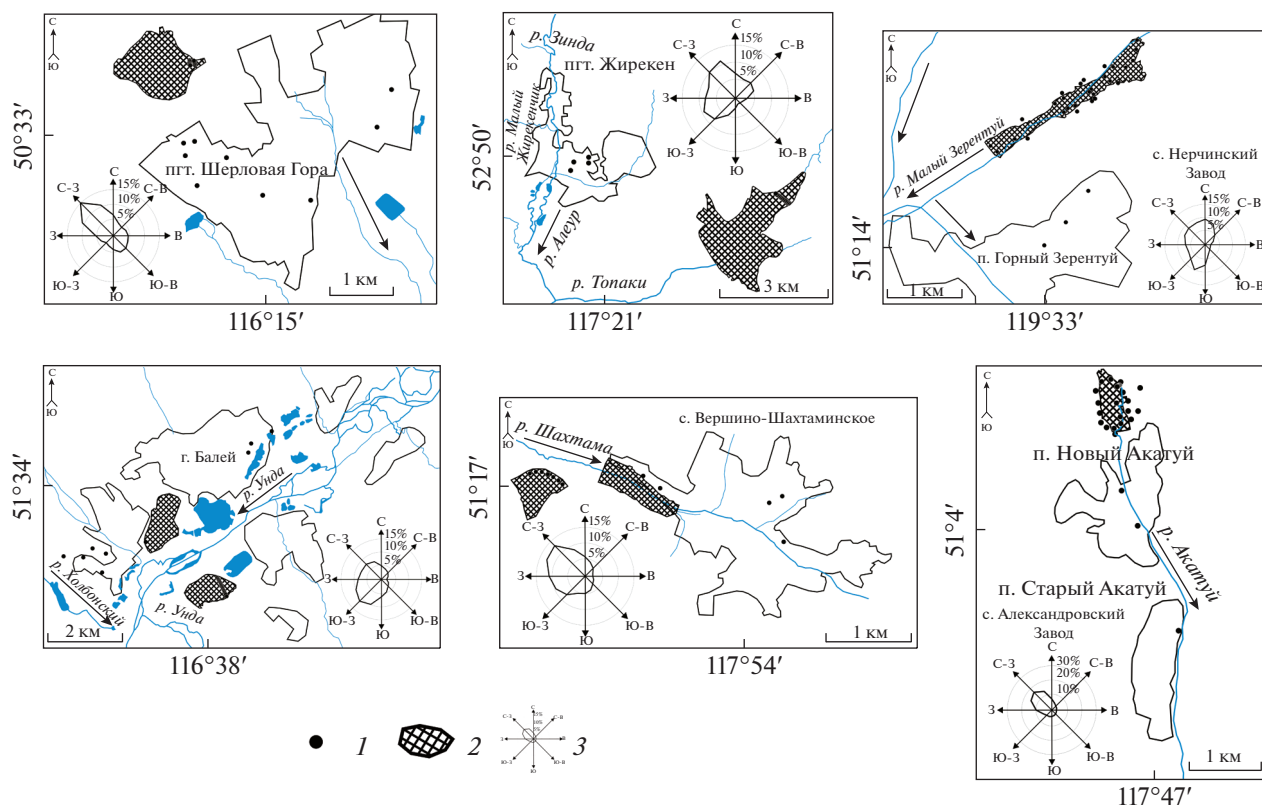


Рис. 1. Схема размещения населенных пунктов относительно хвостохранилищ в горнорудных территориях Восточно-Забайкалья. 1 – точки отбора проб, 2 – хвостохранилища, 3 – годовая роза ветров.

растительных объектах. Особую опасность представляют почвы населенных пунктов, обычно расположенных вблизи отвалов карьеров и хвостохранилищ. Негативное влияние хвостохранилищ и связанное с ними химическое загрязнение почвы, биоты, воды и воздуха сказывается на здоровье населения горняцких поселков. В постсоветский период многие горно-обогатительные комбинаты были закрыты и представляют собой руины. Мероприятия по снижению негативного воздействия техногенных объектов на окружающую среду не проводились, что привело к увеличению числа заболеваний среди населения [1, 3, 4].

Цель исследования – изучение закономерностей распределения токсичных элементов в почвах населенных пунктов, технозомах хвостохранилищ действующих и закрытых ГОКов золоторудных, полиметаллических, оловополиметаллических, молибденовых и редкометальных месторождений. Оценка негативного воздействия на окружающую среду ГОКов различных видов рудных месторождений проведена по соотношению предельно допустимых концентраций данных элементов в почвах и средних содержаний элементов в составляющих ПТК.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

К основным задачам исследования относились установление особенностей распределения токсичных химических элементов в ПТК различных типов рудных месторождений Восточного Забайкалья и расчет их потенциальной экологической опасности. Для их решения использованы данные содержаний токсичных элементов в технозомах хвостохранилищ, населенных пунктах и локальных фонах. Сведения по концентрациям химических элементов в рудах и технозомах хвостохранилищ получены при проведении исследований по базовым проектам Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН с 2000 по 2022 г. Кроме того, использованы опубликованные данные и сведения территориального геологического фонда по Забайкальскому краю (г. Чита). Для определения элементного состава в пробах использованы рентгенофлуоресцентный метод исследования в аналитических лабораториях Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ) и ICP-MS метод в ЗАО “SGS Vostok Limited” (г. Чита).

Данные по фоновым концентрациям элементов в почвах Восточного Забайкалья отсутствуют. В расчетах в качестве фоновых использованы

концентрации элементов в почвах, отобранных вне зоны влияния техногенных объектов на удалении от них от нескольких сотен метров до 2 км в водораздельных частях ландшафтов. Глубина отбора проб составляла 0–10 см. Вес грунтовой пробы составлял 1.0 кг. Пробы в населенных пунктах отбирались вдоль главных улиц и авто-трасс.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ КОМПЛЕКСАХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Рассмотрим распределение химических элементов по токсической опасности в составляющих ПТК рудных месторождений Восточного Забайкалья. В соответствии с СанПиН 2.1.3684-21¹ по опасности химические элементы подразделяются на три класса: I класс – As, Cd, Hg, Pb, Zn; II класс – Co, Ni, Mo, Cu, Sn, Sb, Cr; III класс – Ba, V, W, Mn, Sr^{2,3} [9, 10].

При расчетах концентраций элементов в природно-техногенных комплексах рудных месторождений брались в расчет средние содержания элементов в почвах населенных пунктов. По данным В.А. Алексеенко и др. [5], средние содержания токсичных элементов в почвах селитебных территорий уменьшаются по мере снижения числа жителей в населенных пунктах. Так, в населенных пунктах с числом жителей от 300–700 тыс. среднее содержание As составляет 9.98 г/т, Pb – 45.6 г/т; в почвах малых поселков соответственно As – 5.2 г/т, Pb – 22.7 г/т. В Восточном Забайкалье число жителей в населенных пунктах соответствует малым населенным пунктам (табл. 1).

Для оценки показателя загрязнения почв рассчитаны суммарный показатель загрязнения почв населенных пунктов Z_c [10], а также значения “потенциальной токсичности” (ГЭр) по Р.В. Голевой и др. [8]. Установлено, что наибольшие по-

казатели степени загрязнения характерны для почв градообразующих населенных пунктов при ГОКах полиметаллических и золоторудных месторождений. Менее загрязнены почвы градообразующих населенных пунктов при ГОКах молибденовых и оловополиметаллических месторождений (см. табл. 1).

Существенное влияние на степень загрязнения почв населенных пунктов оказывает местоположение хвостов обогащения относительно хвостохранилищ. Населенные пункты, расположенные вблизи хвостохранилищ и ниже их по относительной высоте, характеризуются высокими значениями загрязнения почв. Наиболее высокими значениями степени загрязнения характеризуются почвы в н.п. Новый Акатуй, находящиеся ниже по течению ручья, омывающего хвостохранилище. Высокая степень загрязнения почв отмечена и в г. Балей, в черте которого размещены хвостохранилища (см. табл. 1).

Сравнительный анализ концентраций токсичных элементов и их соотношений в техноземах хвостохранилищ и почвах градообразующих горняцких поселков при ГОКах различных видов месторождений показал существенные отличия (см. табл. 1, рис. 2).

Для оценки потенциальной токсичности использовалась формула, предложенная в [8]:

$$\text{ГЭр} = \sum_{i=1, n} \text{Тл}_{(i)} \text{В}_{(i)}, \quad (1)$$

где $\text{Тл}_{(i)}$ – коэффициент литотоксичности элемента i ; $\text{В}_{(i)} = \text{X}_{(i)}/\text{Q}_{(i)}$, где $\text{X}_{(i)}$ – концентрации и $\text{Q}_{(i)}$ – кларк земной коры элемента i [7], n – количество рассматриваемых элементов.

Для оценки показателя загрязнения почв рассчитан суммарный показатель загрязнения (Z_c):

$$Z_c = K_{c1} + \dots + K_{c_{n-(n-1)}}, \quad (2)$$

где n – количество учитываемых химических элементов; K_{ci} – коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения, превышающий единицу. $K_{ci} = C_i/C_{\phi}$, где C_i и C_{ϕ} – содержание i -го химического элемента в почвах и грунтах [мг/кг], соответственно фактическое и фоновое.

Значения, характеризующие суммарное загрязнение Z_c по степени опасности [10], имеют следующие диапазоны: $Z_c < 16$ – низкий уровень; $16 < Z_c < 32$ – средний, умеренно опасный; $32 < Z_c < 64$ – высокий, опасный; $64 < Z_c < 128$ – максимальный, чрезвычайно опасный.

Согласно расчетам суммарного показателя загрязнения почв, опасной степенью загрязнения характеризуются почвы г. Балей ($Z_c = 81.5$); высокой степенью загрязнения – почвы поселков: Новый Акатуй ($Z_c = 56.8$), Вершино-Шахтаминский

¹ СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий), 2021. URL: <https://docs.cntd.ru/document/5-73536177>.

² ГОСТ 17.4.1.02-83 Охрана природы (ССОП). Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М.: Стандартинформ, 2008. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012797>

³ МУ 2.1.7.730-99 Почва, очистка населенных пунктов, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почв. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999. 38 с.

Таблица 1. Средние содержания токсичных элементов в районе населенных пунктов горнорудных территорий Восточного Забайкалья, г/т

Элементы	As	Pb	Zn	Cd	Cu	Sn	Mo	Sb	Ba	Sr
<i>k</i>	5	10	50	–	20	10	2	1	500	300
ПДК*	2.0	32.0	23.0	2.0	3.0	53	254.0	4.5	165	600
Золоторудные месторождения										
Почва г. Балей. Число жителей 10 630. ГЭр = 4610 [2], <i>n</i> = 9										
<i>x</i>	232.7	155.6	252.6	10.0	31.1	5.3	2.7	96.0	925.7	182.2
<i>s</i>	296.5	193.6	354.5	–	16.9	4.9	1.5	119	323.6	229.2
<i>x/k</i>	46.5	15.6	5.1	–	1.0	0.5	1.4	96.0	1.9	0.6
<i>x/ПДК</i>	116.4	4.9	11.0	5.0	10.4	0.1	0.01	21.3	5.6	0.3
Техноземы хвостохранилища. <i>L</i> = 300 м, <i>n</i> = 9										
<i>x</i> *	793.0	23.0	43.9	13.0	35.8	9.7	4.0	159	439.6	192.6
<i>s</i>	355.2	8.1	27.1	–	19.9	4.8	1.7	30.3	81.2	37.0
<i>x</i> */ <i>x</i>	3.4	0.1	0.1	1.3	1.1	–	1.5	1.6	0.5	1.1
Фон, <i>n</i> = 2										
<i>x</i> **	8.2	55.0	58.0	0.6	–	2.5	–	4.4	640.0	245.0
<i>s</i>	7.1	3.5	14.1	–	–	0.7	–	–	14.1	35.4
<i>x</i> **/ <i>k</i>	1.6	5.5	1.2	–	–	0.3	–	4.4	1.3	0.8
Полиметаллические месторождения										
Почва н.п. Новый Акатуй. Число жителей 552. ГЭр = 4931 [2], <i>n</i> = 3										
<i>x</i>	620.3	416.0	1329.2	6.5	40.4	4.4	6.0	6.3	556.8	293.3
<i>s</i>	774.7	466.6	1473.6	6.9	15.5	3.2	2.5	4.8	134.8	108.3
<i>x/k</i>	124.1	41.6	26.6	–	2.0	0.4	3.0	6.3	1.1	1.0
<i>x/ПДК</i>	310.2	13.0	57.8	3.3	13.5	0.1	0.02	1.4	3.8	0.5
Хвостохранилище, <i>L</i> = 150 м, <i>n</i> = 10										
<i>x</i> *	10266.0	3752.0	11129.0	1.8	217.0	8.1	4.6	52.3	160.0	509.0
<i>s</i>	5030.9	2066.5	5704.9	1.0	145.4	5.5	2.3	29.6	116.4	228.6
<i>x</i> */ <i>x</i>	16.5	9.0	8.4	0.3	5.4	1.8	0.8	8.3	0.3	1.7
Фон, <i>n</i> = 2										
<i>x</i> **	50.0	51.0	110.5	–	10.0	3.0	18.0	1.3	830.0	200.0
<i>s</i>	169.7	35.4	75.7	–	–	–	–	1.8	0.2	–
<i>x</i> **/ <i>k</i>	10.0	5.1	2.2	–	0.5	0.3	9.0	1.3	1.7	0.7
Почва н.п. Горный Зерентуй. Число жителей 767. ГЭр = 2856 [2], <i>n</i> = 3										
<i>x</i>	266.6	459.0	712.7	3.2	56.7	13.0	5.0	25.7	550.0	170.0
<i>s</i>	57.7	333.5	595.4	2.7	30.5	6.1	2.7	12.9	98.5	60.8
<i>x/k</i>	53.3	45.9	14.2	–	2.8	1.3	2.5	25.7	1.1	0.6
<i>x/ПДК</i>	133.3	14.3	40.0	1.6	18.9	0.2	0.02	5.7	3.3	0.3
Хвостохранилище, <i>L</i> = 1 км, <i>n</i> = 37										
<i>x</i> *	10658.2	6847.6	17973.9	81.5	158.5	87.1	1.3	309	45.6	168.4
<i>s</i>	4793.6	2647.9	8289.0	34.2	54.3	35.4	0.4	105	12.3	23.1
<i>x</i> */ <i>x</i>	40.0	14.9	25.2	25.5	2.8	6.7	0.3	12.0	0.1	1.0
Фон, <i>n</i> = 9										
<i>x</i> **	35.4	56.9	116.5	0.3	33.0	4.5	1.4	5.5	475.1	116.1
<i>s</i>	11.5	37.9	38.2	0.1	8.2	1.1	0.6	2.5	40.1	26.4
<i>x</i> **/ <i>k</i>	7.1	5.7	2.3	–	1.7	0.5	0.7	5.5	0.9	0.4

Таблица 1. Окончание

Элементы	As	Pb	Zn	Cd	Cu	Sn	Mo	Sb	Ba	Sr
Оловополиметаллические месторождения										
Почва н.п. Шерловая Гора. Число жителей 11592. ГЭр = 864 [2], $n = 3$										
x	106.7	146.7	433.3	–	40.0	43.3	–	–		536.7
s	40.4	102.6	291.6	–	17.3	37.9	–	–		20.8
Хвостохранилище, $L = 300$ м, ГЭр = 7956 [2], $n = 9$										
x^*	50.0	1562.4	1702.7	13.7	186.7	595.4	2.0	54.6		345.6
s	20.0	1513.7	1205.6	13.4	76.8	459.2	–	20.4		32.8
x^*/x	0.5	10.6	3.9	–	4.7	13.8	–	–		0.6
Фон, $n = 3$										
x^{**}	30.2	14.0	101.5	0.4	–	11.0	–	1.3		590.0
s	–	1.4	16.3	–	–	7.1	–	0.1		14.1
x^{**}/k	6.0	1.4	2.0	–	–	1.1	–	–		1.2
Молибденовые месторождения										
Почва н.п. Вершино Шахтаминский. Число жителей 1091. ГЭр = 1683 [2], $n = 3$										
x	19.3	124.7	155.6	3.4	226.3	5.5	151.0	17.2		572.5
s	10.2	82.4	120.6	1.0	123.5	0.7	222.2	13.4		134.7
x/k	3.9	12.5	3.1	–	11.3	0.6	75.5	17.2		1.1
$x/ПДК$	9.6	3.9	6.8	1.7	75.4	0.1	0.6	3.8		3.5
Хвостохранилище, $L = 1$ км, $n = 7$										
x^*	113.9	929.1	1243.8	7.8	737.1	8.7	679.1	64.1		719.1
s	109.2	392.8	553.6	6.7	743.6	4.7	465.8	54.8		257.1
x^*/x	5.9	7.5	8.0	2.3	3.3	1.6	3.1	3.7		1.3
Фон, $n = 3$										
x^{**}	10.0	45.1	72.3	0.3	44.0	3.9	8.8	3.2		526.2
s	7.7	39.8	43.0	0.3	77.8	1.7	9.4	5.8		232.3
x^{**}/k	2.0	4.5	1.4	–	2.2	0.4	4.4	3.2		2.2
Почва н.п. Жирекен. Число жителей 4244. ГЭр = 621 [2], $n = 3$										
x	23.5	33.4	81.4	–	61.8	–	61.0	7.0		742.8
s	215	11.6	31.4	–	20.3	–	32.2	–		72.0
x/k	4.7	3.3	1.6	–	3.1	–	30.5	7.0		1.5
$x/ПДК$	11.8	1.0	3.5	–	20.6	–	0.2	1.6		4.5
Хвостохранилище, $L = 2.1$ км, $n = 11$										
x^*	37	64	83	7	500	30	181	–		643
s	13	41	44	0	227	0	177	–		33
x^*/x	1.6	1.9	1.0	–	8.1	–	3.0	–		0.9
Фон, $n = 3$										
x^{**}	29.6	31.3	70.2	–	25.4	–	28.1	–		760.7
s	31.6	6.6	5.4	–	3.7	–	8.4	–		154.6
x^{**}/k	5.9	3.1	1.4	–	1.3	–	14.0	–		1.5

ПДК* по СанПиН 1.2.3685–21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания, 2021. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>;

x – среднее арифметическое, s – стандартное отклонение, k – средние содержания элементов в почвах [6]; содержания по ПДК*: x^* – в техноземах хвостохранилищ, x^{**} – фоновые; L – расстояние от хвостохранилища до населенного пункта, n – число анализов, – нет данных.

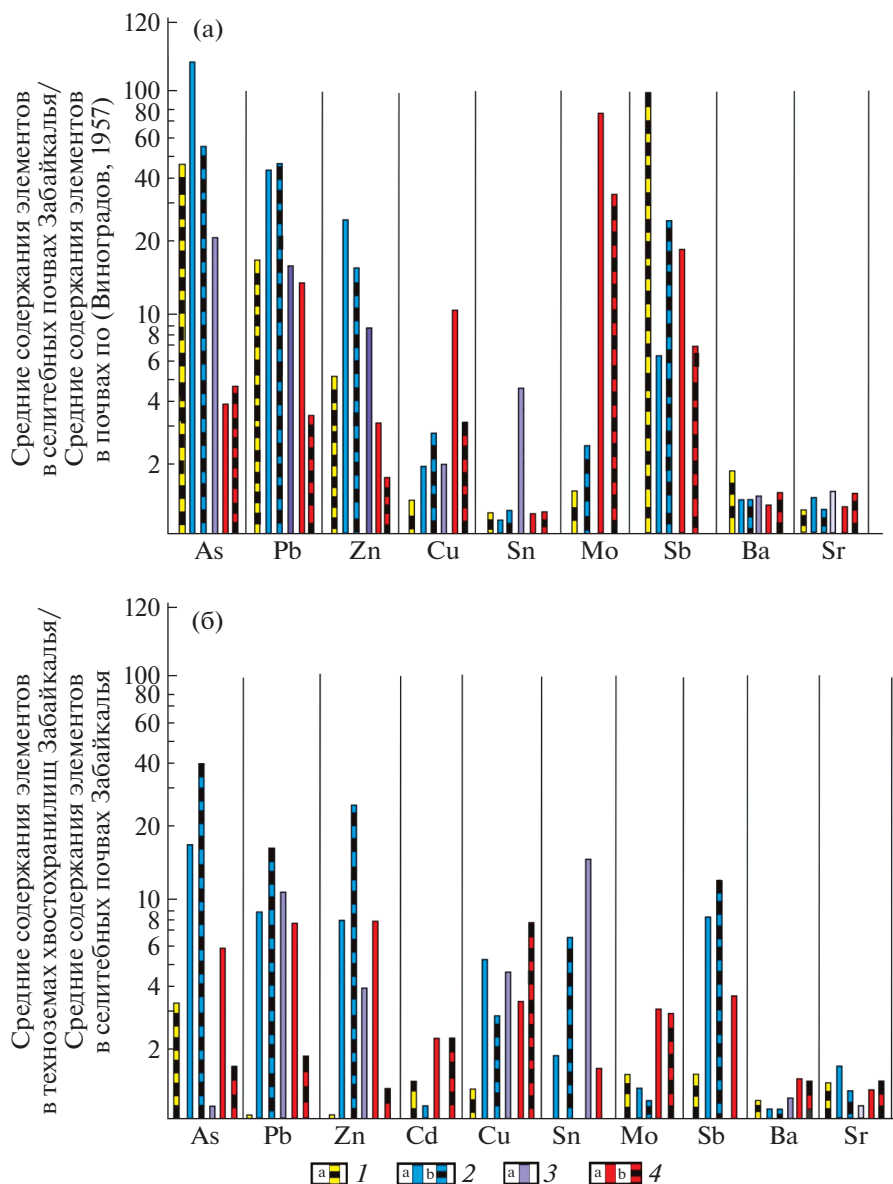


Рис. 2. Гистограммы распределения соотношений элементов в населенных пунктах горнорудных территорий Восточного Забайкалья: а – отношение средних значений токсичных элементов в почвах населенных пунктов рудных месторождений Восточного Забайкалья к средним значениям содержаний токсичных элементов в почвах [5]; б – отношение средних значений токсичных элементов в технозомах хвостохранилищ к средним значениям токсичных элементов в почвах населенных пунктов. 1а – г. Балей, 2 – а – н.п. Новый Акатуй, б – н.п. Горный Зерентуй; 3а – н.п. Шерловая Гора; 4 – а – н.п. Вершино-Шахтаминский, б – н.п. Жирекен.

($Z_c = 40.8$), Горный Зерентуй ($Z_c = 38.8$). Средняя степень опасности загрязнения почв отмечается в н.п. Шерловая Гора ($Z_c = 25.5$). Низкий уровень загрязнения почв отмечается в Жирекене ($Z_c = 9$). Наибольшими показателями потенциальной токсичности почв среди рассматриваемых населенных пунктов Восточного Забайкалья характеризуются г. Балей ($GЭр = 4610$) и п. Новый Акатуй ($GЭр = 4931$).

Для определения степени влияния конкретного химического элемента рассчитаны индексы геоаккумуляции (I_{geo}) в почвах населенных пунктов по методике, предложенной G. Müller. Для вычислений применялась следующая формула [14]:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5BE_n}, \quad (3)$$

где C_n – измеренная концентрация соединений тяжелых металлов в образце; BE_n – среднее гео-

химическое фоновое значение измеряемых элементов.

Значения индекса подразделяются следующим образом:

$I_{\text{geo}} \leq 0$ – практически незагрязненный;

$0 < I_{\text{geo}} \leq 1$ – незагрязненный до умеренно загрязненного;

$1 < I_{\text{geo}} \leq 2$ – умеренно загрязненный;

$2 < I_{\text{geo}} \leq 3$ – средне загрязненный;

$3 < I_{\text{geo}} \leq 4$ – сильно загрязненный;

$4 < I_{\text{geo}} \leq 5$ – сильно загрязненный до чрезмерно загрязненного;

$I_{\text{geo}} > 5$ – чрезмерно загрязненный.

Повышенные значения индекса геоаккумуляции элементов отражают специфику основных добываемых элементов на рудниках исследуемых месторождений. Так, для н.п. Новый Акатуй и Горный Зерентуй, находящихся в зоне влияния полиметаллических месторождений, наибольшее воздействие на окружающую среду оказывают типичные для них химические элементы – As, Pb, Zn и Cd, в г. Балей (Балейское золоторудное месторождение) идет чрезмерное загрязнение почв по As, сильное по Cd и Sb. Среди рассматриваемых населенных пунктов наименьшими значениями индекса I_{geo} , не превышающими единицу, характеризуются почвы н.п. Жирекен.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ содержаний токсичных элементов в почвах горняцких поселков Восточного Забайкалья показывает значительное превышение ПДК элементов I класса опасности, и в меньшей степени II и III класса опасности. Среди токсичных элементов в почвах поселков при ГОКах всех типов месторождений превалирует мышьяк. Так, в почвах Нового Акатуя (Акатуевское полиметаллическое месторождение) отмечается превышение ПДК As более чем в 310 раз, Pb – в 13 раз, Zn – в 57.8 раза (см. табл. 1). Такие высокие содержания отношений можно объяснить, помимо особенностей геологического строения, непосредственно местоположением населенных пунктов относительно хвостохранилищ. Поселок Новый Акатуй и хвостохранилище расположены в одной речной долине, при этом поселок расположен в 50–100 м ниже по течению ручья, дренирующего хвостохранилище, а хвостохранилища Балейского месторождения размещены в черте города.

Выявлено, что в ПТК полиметаллических месторождений отношения средних содержаний элементов в техноземах хвостохранилищ к средним значениям концентраций элементов в почвах населенных пунктов, в основном, превышают

таковые у других типов месторождений. Это можно объяснить значительными превышениями содержаний токсичных элементов в техноземах полиметаллических месторождений относительно техноземов других типов месторождений (см. табл. 1, рис. 2б). Причиной тому может быть наличие карбонатных составляющих во вмещающих породах полиметаллических месторождений и соответственно в материалах хвостохранилищ, снижающих миграционную способность элементов.

В расчетах суммарного показателя загрязнения почв учитываются фоновые содержания элементов в районах рассматриваемых месторождений, которые в зависимости от геологического строения фундамента имеют разные значения. Высокие показатели загрязнения почв селитебных территорий Балейского и Акатуевского месторождений коррелируются с высокими фоновыми содержаниями токсичных элементов в районах этих месторождений. Так, наблюдаются следующие соотношения фоновых концентраций к кларкам для Акатуевского месторождения: As – 360; Pb – 39; Zn – 4.5; Cd – 68.5; Балейского месторождения: As – 28.4; Pb – 2.8; Zn – 14.3; Cd – 16.7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ распределения токсичных элементов в природно-техногенных комплексах горнорудных территорий Восточного Забайкалья выявил следующие закономерности.

1. В почвах горнорудных поселков и техноземах хвостохранилищ рудных месторождений Восточного Забайкалья отмечается закономерное уменьшение содержаний токсичных элементов от I класса опасности к III классу опасности.

2. Рассчитанные значения показателей суммарного загрязнения почв селитебных территорий (Z_c) показали, что опасной степенью загрязнения характеризуются почвы г. Балей ($Z_c = 81.5$). Высокой степенью загрязнения почв характеризуются поселки: Новый Акатуй ($Z_c = 56.8$), Вершино-Шахтаминский ($Z_c = 40.8$), Горный Зерентуй ($Z_c = 38.8$). Средняя степень опасности загрязнения почв отмечается в населенном пункте Шерловая Гора ($Z_c = 25.5$). Низкий уровень загрязнения почв отмечается в н.п. Жирекен ($Z_c = 9$).

3. Установлено, что расположение хвостов обогащения относительно населенных пунктов оказывает существенное влияние на показатели загрязнения почв. Чем ниже по относительной высоте и чем ближе населенные пункты находятся к хвостам обогащения ГОКов, тем выше значения загрязнения почв.

4. Высокие показатели загрязнения почв селитебных территорий коррелируются с высокими фоновыми содержаниями токсичных элементов в районах рудных месторождений. Так, наблюдаются следующие отношения фоновых концентраций для Акатуевского месторождения (фон/кларк): As – 360; Pb – 39; Zn – 4.5; Cd – 68.5; Балейского месторождения: As – 28.4; Pb – 2.8; Zn – 14.3; Cd – 16.7.

Работа выполнена в рамках госзадания ИПРЭК СО РАН № FUFР-2021-0006 “Геоэкология водных экосистем Забайкалья в условиях современного климата и техногенеза, основные подходы к рациональному использованию вод и их биологических ресурсов”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов Б.Н.* Концентрации тяжелых металлов в техногенных ландшафтах Акатуевского полиметаллического месторождения (Восточное Забайкалье) // Вестник Воронежского государственного университета: География. Геоэкология. 2018. № 4. С. 67–71.
2. *Абрамов Б.Н., Еремин О.В., Филенко Р.А., Цыренов Т.Г.* Оценка потенциальной экологической опасности природно-техногенных комплексов рудных месторождений Восточного Забайкалья // Геосферные исследования. 2020. № 2. С. 64–75. <https://doi.org/10.17223/25421379/15/5>
3. *Абрамов Б.Н.* Оценка токсичности хвостохранилищ рудных месторождений Забайкальского края // Горно-информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 11. С. 136–145. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_11_0_136
4. *Абрамов Б.Н.* Геоэкологическая характеристика природно-техногенных комплексов свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья // Вестник Воронежского университета. Серия геология. 2022. № 1. С. 67–76. <https://doi.org/10.17308/geology.2022.1/9101>
5. *Алексеев В.А., Алексеев А.В.* Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных территорий. Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2013. 380 с.
6. *Виноградов А.В.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1957. 238 с.
7. *Войткевич Г.В., Мирошников А.Е., Поваренных А.С., Прохоров В.Г.* Краткий справочник по геохимии. М.: Недра, 1977. 184 с.
8. *Голева Р.В., Иванов В.В., Куприянова И.И., Маринов Б.Н. и др.* Экологическая оценка потенциальной токсичности рудных месторождений (методические рекомендации). М.: “РИЦВИМС”, 2001. 53 с.
9. *Криночкина О.К., Стулов В.Г.* Учет влияния природной геохимической опасности территорий при оценке негативного воздействия горнопромышленных комплексов на окружающую среду // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 7 (49). С. 111–113. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.49.100>
10. *Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С. и др.* Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
11. *Юргенсон Г.А.* Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья: История, современное состояние, проблемы, перспективы развития. К 300-летию основания Приказа рудокопных дел. Новосибирск: Наука, 1999. 574 с.
12. *Gholizadeh A., Boruvka L., Vařat R., Saberioon M., et al.* Estimation of Potentially Toxic Elements Contamination in Anthropogenic Soils on a Brown Coal Mining Dumpsite by Reflectance Spectroscopy: A Case Study // PLoS ONE, 2015. V. 10. № 2. e0117457. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117457>
13. *Jacka J.K.* The Anthropology of Mining: The Social and Environmental Impacts of Resource Extraction in the Mineral Age // Annual Review of Anthropology, 2018. № 47. P. 61–77. <https://doi.org/10.1146/annurev-anthro-102317-050156>
14. *Müller G.* Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River // GeoJournal. 1969. V. 2. № 3. P. 108–118.
15. *Nemerov A.M., Shepelev I.I., Eskova E.N., Kniga Y.A., Orlegova N.V.* The use of non-toxic technogenic and natural materials to ensure the stability of disturbed ecosystems // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019. 315: 052012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/5/052012>
16. *Onsachi J.M., Yakubu H.M., Shaibu M.M.* Evaluation of Potentially Toxic Elements (PTE) From Mine Effluence Discharge (Case Study Of National Iron Ore Mining Company (NIOMCO), Itakpe, Kogi State – North Central, Nigeria // The International Journal of Engineering and Science (IJES), 2018. V. 7. № 9: III. P. 47–54. <https://doi.org/10.9790/1813-0709034754>
17. *Otieno S.B., Ngumbi E., Odhiambo-Nyan'gaya C., Gakunju J.* Study of Spatial Distribution of Potentially Toxic Elements in a Nature Reserve in Langata Ecosystem // Journal of Health and Environmental Research, 2020. V. 6. № 4. P. 114–118. <https://doi.org/10.11648/j.jher.20200604.12>
18. *Reyes A., Thiombane M., Panico A., Daniele L., et al.* Source patterns of potentially toxic elements (PTEs) and mining activity contamination level in soils of Taltal city (northern Chile) // Environ. Geochem. Health, 2020. V. 42. № 8. P. 2573–2594. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00404-5>

PATTERNS OF TOXIC ELEMENT DISTRIBUTION IN SOILS OF SETTLEMENTS IN THE EASTERN TRANSBAIKALIA MINING AREAS

B. N. Abramov^{a,*} and T. G. Tsyrenov^{a,**}

^a Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, ul. Nedorezova, 16, Chita, 672002 Russia

*E-mail: b_abramov@mail.ru

**E-mail: master.of.pistols@mail.ru

The distribution patterns of toxic elements in soils have been revealed for populated areas in Eastern Transbaikalia mining districts. A comparative analysis of toxic element distribution in soils of residential areas, tailings ponds and background areas in the areas of worked-out and mined-out deposits of gold, polymetallic, tin and molybdenum has been carried out. Elemental composition was determined using X-ray fluorescent and ICP-MS methods in analytical laboratories of Geological Institute SB RAS (Ulan-Ude) and ICP-MS CJSC “SGS Vostok Limited” (Chita). Background concentrations of elements in soils were used in the calculations. Samples for background concentrations were taken outside the influence zone of technogenic objects at a distance of several hundred meters to 1–2 km from them, in watershed parts of landscapes. The weight of the soil sample was equal to 1.0 kg. Samples in settlements were taken along the main streets and main highways. It has been found that the content of toxic elements in soils of mining settlements and technozems of tailing dumps decreased from the first to the third hazard class. It has been determined that soils of Baley town are characterized by dangerous degree of pollution ($Z_c = 81.5$). Soils of township-forming settlements at mining and processing plants of worked-out polymetallic and molybdenum deposits are characterized by a high degree of pollution: Novy Akatuy ($Z_c = 56.8$), Vershino-Shakhtaminsky ($Z_c = 40.8$), Gorny Zerenty ($Z_c = 38.8$). An average degree of soil contamination danger is noted in the settlement of Sherlovaya Gora at the Sherlovogorsk tin-polymetallic deposit mine ($Z_c = 25.5$). A low level of soil contamination is noted in Zhireken settlement ($Z_c = 9$) at the Zhireken molybdenum mine. The degree of soil contamination in settlements was found to increase with the decreasing distance from the tailing dumps.

Keywords: soils of settlements, technozems of tailing dumps, toxic elements, total contamination degree, Eastern Transbaikalia

REFERENCES

1. Abramov, B.N. *Kontsentratsii tyazhelykh metallov v tekhnogennykh landshaftakh Akatuevskogo polimetallicheskogo mestorozhdeniya (Vostochnoe Zabaikal'e)* [The concentrations of heavy metals in the Akatuyevskoye polymetallic deposit technogenic landscapes (Eastern Transbaikalia)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2018, no. 4, pp. 67–71. (in Russian)
2. Abramov, B.N., Eremin, O.V., Filenko, R.A., Tsyrenov, T.G. *Otsenka potentsial'noi ekologicheskoi opasnosti prirodnotekhnogennykh kompleksov rudnykh mestorozhdenii Vostochnogo Zabaikal'ya* [Assessment of potential environmental hazards of natural and man-made complexes of ore deposits (Eastern Transbaikalia, Russia)]. *Geosfernye issledovaniya*, 2020, no. 2, pp. 64–75. <https://doi.org/10.17223/25421379/15/5>. (in Russian)
3. Abramov, B.N. *Otsenka toksichnosti khvostokhranilishch rudnykh mestorozhdenii Zabaykal'skogo kraya* [Toxicity assessment of mine tailings ponds in Transbaikalia]. *Gorno-informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2021, no. 11, pp. 136–145. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_11_0_136. (in Russian)
4. Abramov, B.N. *Geoekologicheskaya kharakteristika prirodno-tekhnogennykh kompleksov svintsovo-tsinkovykh mestorozhdenii Vostochnogo Zabaikal'ya* [Geological characteristics of natural-technogenic complexes of lead-zinc deposits in the Eastern Transbaikalia]. *Vestnik Voronezhskogo universiteta. Seriya geologiya*, 2022, no. 1, pp. 67–76. <https://doi.org/10.17308/geology.2022.1/9101>. (in Russian)
5. Alekseenko, V.A., Alekseenko, A.V. *Khimicheskie elementy v geokhimicheskikh sistemakh. Klarki pochv selitebnykh territorii* [Chemical elements in geochemical systems. Clarks of soils of inhabited areas]. Rostov-on-Don, Southern Federal University Publ., 2013, 380 p. (in Russian)
6. Vinogradov, A.V. *Geokhimiya redkikh i rasseyannykh khimicheskikh elementov v pochvakh* [Geochemistry of rare and trace chemical elements in soils]. Moscow, Akad. nauk SSSR Publ., 1957, 238 p. (in Russian)
7. Voitkevich, G.V., Miroshnikov, A.E., Povarennykh, A.S., Prokhorov, V.G. *Kratkii spravochnik po geokhimii* [Brief reference book on geochemistry]. Moscow, Nedra Publ., 1977, 184 p. (in Russian)
8. Goleva, R.V., Ivanov, V.V., Kupriyanova, I.I., Marinov, B.N., et al. *Ekologicheskaya otsenka potentsial'noi toksichnosti rudnykh mestorozhdenii (metodicheskie rekomendatsii)* [Environmental assessment of potential toxicity of ore deposits (guidelines)]. Moscow, RITs-VIMS Publ., 2001, 53 p. (in Russian)
9. Krinochkina, O.K., Stulov, V.G. *Uchet vliyaniya prirodnoi geokhimicheskoi opasnosti territorii pri otsenke negativnogo vozdeistviya gornopromyshlennykh kompleksov na okruzhayushchuyu sredu* [Factoring natural geochemical hazard of territories into assessment of negative im-

- fact of mining complexes on the environment]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2016, no. 7 (49), pp. 111–113. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.49.100>. (in Russian)
10. Saet, Yu.E., Revich, B.A., Yanin, E.P., Smirnova, R.S., et al. *Geokhimiya okruzhayushchei sredy* [Environmental geochemistry]. Moscow, Nedra Publ., 1990, 335 p. (in Russian)
 11. Yurgenson, G.A. *Geologicheskie issledovaniya i gornopromyshlennyy kompleks Zabaykal'ya: istoriya, sovremennoe sostoyanie, problemy, perspektivy razvitiya. K 300-letiyu osnovaniya Prikaza rudokopnykh del* [Geological surveys and the mining and industrial complex of Transbaikalia: history, current state, problems, development prospects. To the 300th anniversary of the founding of the Order on ore-mining affairs]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1999, 574 p. (in Russian).
 12. Gholizadeh, A., Boruvka, L., Vašát, R., Saberioon, M. et al. Estimation of potentially toxic elements contamination in anthropogenic soils on a brown coal mining dumpsite by reflectance spectroscopy: a case study. *PLoS ONE*, 2015, vol. 10, no. 2: e0117457. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117457>
 13. Jacka, J.K. The anthropology of mining: the social and environmental impacts of resource extraction in the mineral age. *Annual Review of Anthropology*, 2018, no. 47, pp. 61–77. <https://doi.org/10.1146/annurev-anthro-102317-050156>
 14. Müller, G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal*, 1969, vol. 2, no. 3, pp. 108–118.
 15. Nemerov, A.M., Shepelev, I.I., Eskova, E.N., Kniga, Y.A., Orlegova, N.V. The use of non-toxic technogenic and natural materials to ensure the stability of disturbed ecosystems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, 315: 052012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/5/052012>
 16. Onsachi, J.M., Yakubu, H.M., Shaibu, M.M. Evaluation of potentially toxic elements (PTE) from mine effluence discharge (case study of National Iron Ore Mining Company (NIOMCO), Itakpe, Kogi State – North Central, Nigeria). *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, 2018, vol. 7, no. 9: III, pp. 47–54. <https://doi.org/10.9790/1813-0709034754>
 17. Otieno, S.B., Ngumbi, E., Odhiambo-Nyan'gaya, C., Gakunju, J. Study of spatial distribution of potentially toxic elements in a nature reserve in Langata ecosystem. *Journal of Health and Environmental Research*, 2020, vol. 6, no. 4, pp. 114–118. <https://doi.org/10.11648/j.jher.20200604.12>
 18. Reyes, A., Thiombane, M., Panico, A., Daniele, L., Lima, A., Di Bonito, M., De Vivo, B. Source patterns of potentially toxic elements (PTEs) and mining activity contamination level in soils of Taltal city (northern Chile). *Environ. Geochem. Health*, 2020, vol. 42, no. 8, pp. 2573–2594. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00404-5>