

Геоэкологическая характеристика природно-техногенных комплексов свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья

©2022 Б. Н. Абрамов✉

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, ул. Недорезова, 16а, а/я 1032, 672014, Чита, Российская Федерация

Аннотация

Введение: Среди природно-техногенных комплексов рудных месторождений Восточного Забайкалья наибольшую экологическую опасность представляют свинцово-цинковые месторождения. Целью исследования является определение влияния на окружающую среду отходов обогащения горно-обогатительных комбинатов свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья. Дана сравнительная оценка потенциальной опасности природно-техногенных комплексов с выявлением распределения токсичных элементов разных классов опасности в рудах, техноземах, почвах.

Методика: Определения элементного состава в пробах проведено с использованием рентгенофлуоресцентного метода исследования в аналитических лабораториях Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ). Содержания благородных металлов определялись пробирно-атомно-эмиссионным методом с индуктивно-связанной плазмой в ЗАО «SGS Vostok Limited» (г. Чита). В основу работы положен фактический материал, собранный при выполнении базовых проектов Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН за период с 2000–2020 гг., а также опубликованные данные и сведения территориального геологического фонда по Забайкальскому краю (г. Чита).

Результаты и обсуждение: В природно-техногенных комплексах рассматриваемых месторождений установлено уменьшение концентраций элементов от первого класса токсической опасности ко второму и далее к третьему. Это объясняется соотношениями концентраций данных элементов в составе руд. Установлено, что потенциальная токсичность свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья соответствует показателям токсичности свинцово-цинковых месторождений. Содержания благородных металлов в тяжелых шлихах техноземов Акатуевского месторождения составляют: Au до 3.0 г/т, Ag до 20.9 г/т; Благодатского – до Au до 1.8 г/т, Ag – 22.0 г/т.

Заключение: Выявлено, что среди природно-техногенных комплексов свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья наибольшую экологическую опасность представляют почвы в районе Савинского месторождения № 5. Суммарное загрязнение почв составляет $Z_c=126.3$, что соответствует опасному уровню загрязнения. Минимальные показатели уровня загрязнения почв среди рассматриваемых месторождений установлены для Ново-Широкинского месторождения $Z_c=41.9$, также соответствующие опасному уровню загрязнения почв ($Z_c = 32-128$).

Ключевые слова: Свинцово-цинковые месторождения, токсичные элементы, техноземы хвостохранилищ, экологическая опасность, Восточное Забайкалье.

Для цитирования: Абрамов Б. Н. Геоэкологическая характеристика природно-техногенных комплексов свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2022. №1. С. 67–76. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2022.1/9101>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Абрамов Баир Намжилович, e-mail: b_abramov@mail.ru

Введение

Восточное Забайкалье относится к числу старейших горнорудных регионов России. Первые горнорудные предприятия в России по добыче серебра были открыты в Нерчинском горном округе в 1689 г. Сырьем служили руды свинцово-цинковых месторождений Нерчинско-Заводского рудного района [1]. По современным схемам районирования на территории Восточного Забайкалья выделяются следующие рудные пояса: 1 – R-Fe-Cu; 2 – R-Mo-W; 3 – Mo-Au; 4 – Sn-W-R; 5 – U-Au-Pb-Zn (рис. 1) [2]. Рассматриваемые свинцово-цинковые месторождения расположены в уран-золото-полиметаллическом поясе. В результате освоения месторождений полезных ископаемых в Восточном Забайкалье накоплен целый комплекс экологических проблем. Известны десятки законсервированных горно-обогатительных комбинатов и рудников. На территории Забайкальского края находится 79 хвостохранилищ обогатительных фаб-

рик действующих и отработанных месторождений золота, молибдена, вольфрама, олова, полиметаллов, флюорита (рис. 1). Общая масса отвалных хвостов составляет около 220 млн тонн. Техногенные образования, образованные в результате освоения месторождений, представляют собой опасные источники токсичных элементов [3–11]. Установлено, что среди природно-техногенных комплексов (ПТК) рудных месторождений Восточного Забайкалья наибольшую экологическую опасность представляют свинцово-цинковые месторождения [6].

Основной задачей исследования является установление особенностей распределения токсичных химических элементов в ПТК свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья, расчет их потенциальной экологической опасности. Природно-техногенные комплексы рудных месторождений включают в себя природные и техногенные (созданные человеком) составляющие окружающей среды.

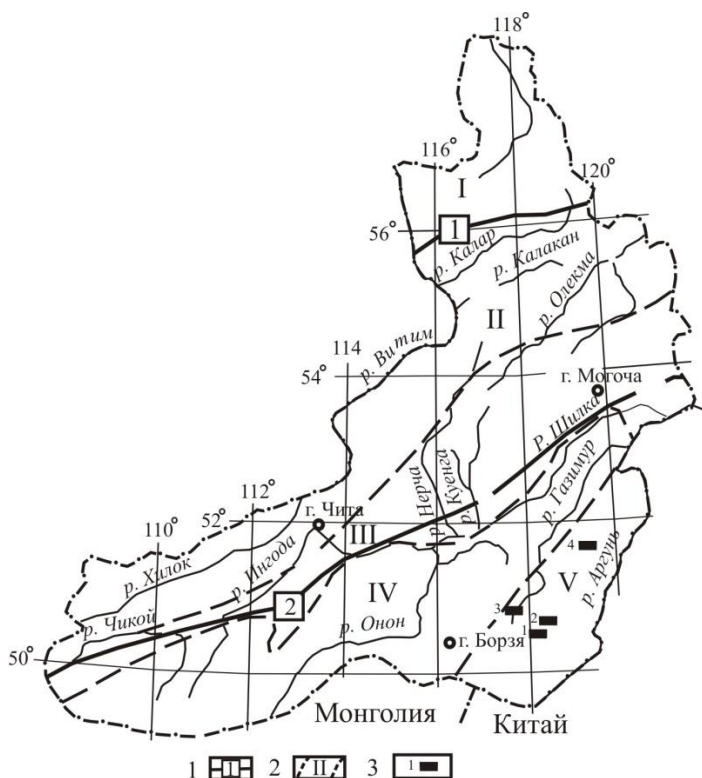


Рис. 1. Схема металлогенического районирования Восточного Забайкалья [2]: I – крупные тектонические зоны (цифры в квадрате): 1 – Становая, 2 – Монголо-Охотская; 2 – рудные пояса: I – редкометалльно-железо-медный, II – редкометалльно-молибденово-вольфрамовый, III – молибденово-золотой, IV – оловянно-вольфрамово-редкометалльный, V – уран-золото-полиметаллический; месторождения: 1 – Савинское № 5, 2 – Нойон-Тологойское, 3 – Акатуевское, 4 – Ново-Широкинское; 5 – Благодатское.

[Fig. 1. A scheme of metallogenic zoning of the Eastern Transbaikal [2]: (1) – large tectonic zones (numbers in a square): (1) – Stanovoy, (2) – Mongol-Okhotsk; (2) – ore belts: (I) – rare metal-iron-copper, (II) – rare-metal-molybdenum-tungsten, (III) – molybdenum-gold, (IV) – tin-tungsten-rare metal, (V) – uranium-gold-polymetallic; deposits: (1) – Savinsky No. 5, (2) – Noyon-Tologoysky, (3) – Akatuevsky, (4) Novo-Shirokinsky; (5) – Blagodat-sky.]

Методы исследования, фактический материал

Данные по концентрациям химических элементов в ПТК полиметаллических месторождений получены при проведении исследований по базовым проектам Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН в период 2000–2020 гг. Кроме того, использованы опубликованные данные и сведения территориального геологического фонда по Забайкальскому краю (г. Чита). Для определения элементного состава в пробах использован рентгенфлуоресцентный метод исследования в аналитических лабораториях Геологического института СО РАН (г. Улан-

Удэ). Содержания золота и серебра определялись пробирно-атомно-эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой в ЗАО «SGS Vostok Limited» (г. Чита).

Точки отбора почв расположены выше зоны рудника и хвостохранилищ. Глубина отбора проб составляла 0–10 см. При промывке техноземов хвостохранилищ лотком выделен тяжелый шлик. В среднем из 30 кг материала выход тяжелого шлика составлял около 1 кг, т.е. примерно 3,3% от исходной массы. Пробы тяжелого шлика техноземов хвостохранилищ проанализированы на элементный состав.

Краткая характеристика природно-техногенных комплексов полиметаллических месторождений

Проведено исследование распределения химических элементов в природно-техногенных комплексах четырех полиметаллических месторождений: Акатуевского, Благодатского, Ново-Широкинского и Савинского № 5.

Техноземы хвостохранилищ состоят преимущественно из нерудных минералов (полевой шпат, кварц и др.), в небольшом количестве встречаются сульфиды. Состав рудных минералов техноземов хвостохранилищ напрямую связан с минеральным составом рудных ассоциаций сульфидных месторождений. В рудах полиметаллических месторождений основные рудные минералы, в состав которых входят токсичные элементы, представлены: пиритом (FeS_2), арсенопиритом (FeAsS), халькопиритом (CuFeS_2), сфалеритом (ZnS), галенитом (PbS). Кадмий входит в виде изоморфной примеси в минералы цинка. Барий и стронций входят в состав породообразующих минералов. В их составе они концентрируются в слюдах. Вследствие этого концентрации бария и стронция в техноземах хвостохранилищ превышают их содержания в рудах.

Акатуевское полиметаллическое месторождение является одним из крупных полиметаллических месторождений Приаргунья, открытым в 1815 г. В геологическом строении месторождения принимают участие сланцево-карбонатные породы нижнего палеозоя, юрские осадочные и вулканогенно-осадочные отложения, граниты и гранодиориты позднего палеозоя. Рудные тела месторождения представлены жильными и трубообразными телами. Рудообразование происходило в следующие последовательно проявляющиеся стадии: карбонатную, арсенопирит-пиритовую, сфалеритовую, пирит-пирротинную, арсенопиритовую, галенит-сфалеритовую, галенитовую, буланжеритовую, кварц-карбонатную. Главные рудные минералы: англезит, перуссит, галенит, смитсонит и сфалерит.

Хвостохранилище состоит из трех прудов-накопителей общей протяженностью 850 м при максимальной ширине 250 м. Площадь хвостохранилища составляет 15 га, объем 500 тыс. м [4]. Хвосты обогащения не затоплены, наблюдается интенсивное эоловое развеивание и вынос хвостов по эрозионным промоинам. Высота дамбы нижнего пруда-накопителя составляет 7–9 м.

Благодатское полиметаллическое месторождение открыто во второй половине XVIII века и эксплуатировалось с перерывами до середины XIX века. В 1948 г. разведочные работы были возобновлены, и в 1950-х гг. месторождение вновь было передано в эксплуатацию. В советское время обрабатывалось двумя шахтами, горные работы завершены 1992 г.

Месторождение расположено в Приаргунской металлогенической зоне в юго-восточном крыле Нерчинско-Заводской антиклинали в карбонатных породах одноименной свиты. Участок Благодатского месторождения сложен осадочными отложениями па-

леозойского и мезозойского возрастов. Изверженные породы представлены мезозойскими сиенит-порфирами и кварцевыми порфирами. Рудовмещающими породами являются доломитовые известняки нерчинско-заводской свиты. Рудные тела сложнотрубообразной, жиллообразной, линзообразной формы. Характерны массивные, брекчиевые, кокардовые, бурундучные текстуры руд. По соотношениям в рудных телах тех или иных сульфидов выделяются следующие их разновидности: 1) галенит-пирит-сфалеритовые, 2) сфалерит-галенитовые, пиритовые руды с галенитом и сфалеритом. Главными рудными минералами месторождения являются: галенит, сфалерит, пирит, арсенопирит и станнин; редко встречаются марказит, бурнонит, менегинит, блеклые руды, антимонит, касситерит и пирротин.

Хвостохранилище рудника Благодатский состоит из двух прудов-накопителей общей протяженностью 2,5 км при максимальной ширине до 150 м. Плотина нижнего пруда-накопителя со стороны нижнего бьефа имеет высоту до 20 м, а со стороны верхнего бьефа – 3–4 м. Ширина дамбы по верху 5 м. Нижняя часть откоса дамбы закреплена щебнисто-глыбовым материалом. Площадь хвостохранилища составляет 37 га, объем 747 тыс. м [6].

Ново-Широкинский месторождение расположено в юго-восточной части Восточного Забайкалья. Месторождение расположено в зоне Газимурского глубинного разлома. В геологическом строении месторождения принимают участие вулканогенно-осадочные образования юрского возраста, гранодиориты шахтаминского комплекса, карбонатно-терригенные образования нижнего кембрия [12].

Ново-Широкинский месторождение отличается от других полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья повышенными содержаниями благородных металлов: золота – 4 г/т, серебра — 86,5 г/т [5]. Рудные тела имеют жиллообразную форму и сопровождаются серией субпараллельных маломощных жил и прожилков. По составу, структурно-текстурным особенностям и содержанию ведущих полезных компонентов руды месторождения делятся на три минералогенетических типа, соответствующих стадиям минерализации: а) медисто-сернисто-колчеданные; б) кварц-полиметаллические; в) карбонатно-полиметаллические. Наиболее распространенными рудными минералами являются пирит, сфалерит, галенит.

Хвостохранилище Ново-Широкинского ГОКа расположено в долине пади Прямая в 3 км от рудника. Емкость хвостохранилища ограждена дамбой. Мощность насыпи дамбы составляет 4,8–9,8 м. Площадь хвостохранилища на конец эксплуатации в 2033 г. составит 498 тыс. м², емкость 4707 тыс. м³.

Хвосты обогащения сложены кварцем, полевыми шпатами, слюдами, карбонатами (96–97% объема), в них также присутствуют пирит (до 2,5–3%) и другие сульфиды (0,5–1%): халькопирит, блеклые руды, гидроокислы Fe, Mn и в небольших количествах Au и Ag.

Савинское месторождение № 5 входит в Кличкинскую группу полиметаллических месторождений, известную с 1759 г. Оработка и обогащение сырья до 1994 г. осуществлялись Кличкинским рудником и Нерчинским полиметаллическим комбинатом. В пределах рудного поля находится Савинское №5 скарново-полиметаллическое месторождение. На западе от него расположено Почекуевское месторождение, а юго-западнее Кличкинское и Савинское № 4 месторождения. Рудные тела этих месторождений имеют пластообразную, трубообразную и линзообразную формы. Рассматриваемые месторождения имеют близкий состав рудных минералов. Основные из которых представлены галенитом, сфалеритом, пиритом, второстепенные рудные минералы – халькопиритом, арсенопиритом, марказитом, буланжеритом. Площадь хвостохранилища составляет 55 га, объем 1645 тыс. м³ [6].

Результаты исследований

К основным видам воздействия на окружающую среду относятся: изменение рельефа, загрязнение атмосферы, речного стока, почвенного покрова. Согласно ГОСТ 17.4.1.02-83 по классу 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 [13].

Распределение химических элементов в ПТК в цепи: руды – техноземы хвостохранилищ – тяжелый шлик – почва, показывает, что наибольшими содержаниями токсичных элементов первого класса опасности (As, Cd, Pb, Zn) характеризуются свинцово-цинковые руды (табл. 1, рис. 2). Среди элементов второго и третьего класса опасности повышенными содержаниями характеризуются Cu, Sb в меньшей степени – Sn, W.

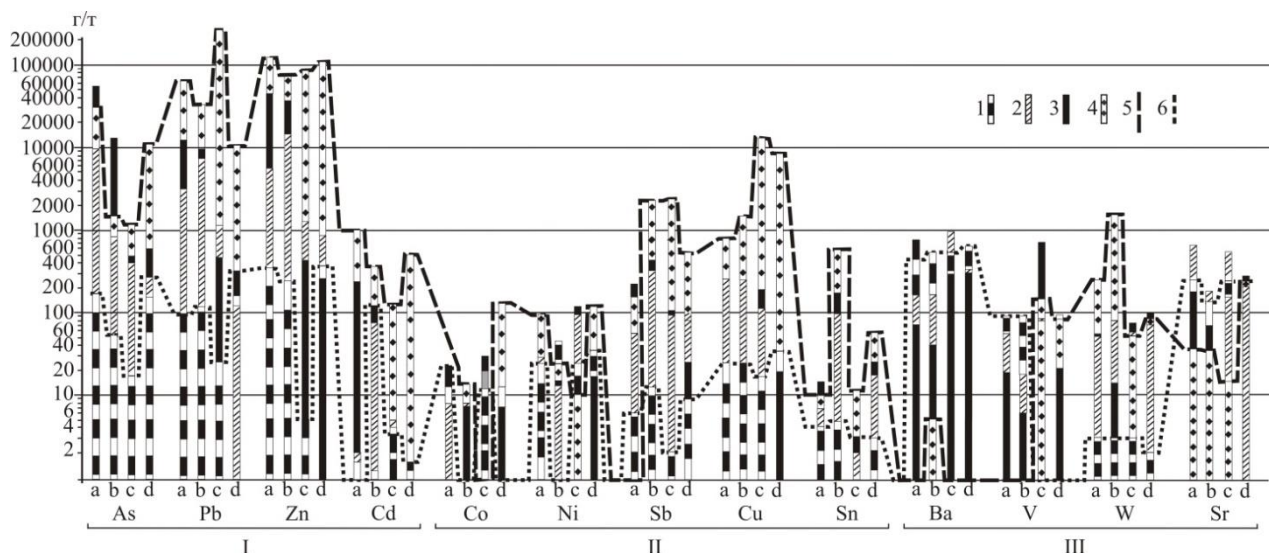


Рис 2. Гистограмма распределения химических элементов в природно-техногенных комплексах полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья. Концентрации химических элементов в ПТК месторождений: *a* – Акатуевского, *b* – Благодатского, *c* – Ново-Широкинского, *d* – Савинского № 5; Составляющие ПТК: 1 – почва, 2 – технозем, 3 – тяжелый шлик, 4 – руды; 5 – линия, соединяющая максимальные концентрации токсичных элементов в рудах; 6 – линия, соединяющая максимальные концентрации токсичных элементов в почвах.

[Fig. 2. Histogram of the distribution of chemical elements in natural-technogenic complexes of polymetallic deposits in the Eastern Transbaikal. Concentrations of chemical elements in the NTC of deposits: (*a*) – Akatuevsky, (*b*) – Blagodatsky, (*c*) – Novo-Shirokinsky, (*d*) – Savinsky No. 5; Components of the NTC: (1) – soil, (2) – technozem, (3) – heavy concentrate, (4) – ores; (5) – line connecting maximum concentrations of toxic elements in ores; (6) – line connecting maximum concentrations of toxic elements in soils.]

Воды, дренирующие хвостохранилища свинцово-цинковых месторождений, несмотря на преимущественно сульфидный состав руд, характеризуются нейтральными и слабощелочными значениями pH, что обусловлено высоким нейтрализующим потенциалом вмещающих карбонатных пород и минералов, присутствующих в рудах. Воды, дренирующие хвостохранилища, относительно среднего состава вод выщелачивания в порядке их убывания имеют вид: As>Pb>Sb>Zn>Cd>Mn>Mo>Al>La>Sr>Cu>U – на Благодатском, As>Zn>Mn>Fe>Sr>Cd>U>Pb>Sb>Mo>Cs>Se>Co – на Акатуевском месторождениях [9]. Близкая к этому последовательность уменьшений концентраций элементов наблюдается в почвах Бла-

годатского – Zn>Pb>As>Sb>Cu>W>Sn>Cd>Ni>Co и Акатуевского As>Zn>Pb>Cu>W>Sb>Cd>Ni>Co месторождений (табл. 1). В целом, во всех составляющих ПТК полиметаллических месторождений отмечается уменьшение концентраций элементов от первого класса токсичности (As, Pb, Zn, Cd) ко второму классу (Co, Ni, Sb, Cu, Sn). Среди рудных элементов первого класса опасности наиболее высокой потенциальной миграционной способностью характеризуется As, меньшей миграционной способностью – Pb и Zn [14].

Расчет «потенциальной токсичности рудного месторождения» рассчитывается по формуле 1:

$$(1) \Gamma_{Эр} = \sum_{i=1}^n (\Gamma_{л+В})_i + \dots (\Gamma_{л+В})$$

Табл. 1. Содержание химических элементов в природно-техногенных комплексах полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья, г/т
 [Table 1. Contents of chemical elements in natural-technogenic complexes of polymetallic deposits in the Eastern Transbaikalia, g/t]

Элементы [Elements]	I					II					III				
	As	Pb	Zn	Cd	Co	Ni	Sb	Cu	Sn	Ba	V	W	Sr		
ПДК [MPC]	2	32	23	2	3	4	4.5	3	-	-	150	-	-		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
Акатуевское месторождение. Свинцово-цинковые руды (n=13) ГЭр=38814 [Akatevsky field. Lead-zinc ores (n=13) GEr=38814]]															
x	30575	62889	122265	1007	-	94	165	798	10	-	-	253	35		
s	46747	72289	136047	829	-	65	195	558	14	-	-	232	22		
Хвостохранилище (n=11) [Tailings storage (n=11)]															
x*	9736	3298	5767	34.2	8	29	54	282	7	159	54	51	643		
s	3983	1954	2196	15.5	3	10	29	159	6	52	27	32	192		
x/x*	3.1	19.1	21.2	29.4	-	3.24	3	2.8	1.4	-	-	4.9	0.05		
Почва (n=11) [Soil (n=11)]															
x*	174	98	332	1.3	12	25	6	25	4	765	89	3	233		
s	116	97	255	1.5	2	6	8	11	4	146	18	1.6	71		
x*/ПДК [x*/MPC]	87	3	14.4	0.65	0.66	6.25	1.3	8.3			0.6				
Тяжелый шлик (n=3) Au – 1.98–3.0 г/т; Ag – 19.0–20.5 г/т [Heavy concentrate (n=3) Au – 1.98–3.0 g/t; Ag – 19.0–20.5 g/t]															
x	52867	10752	45825	231	21	-	211	390	14	75	19	56	187		
s	7914	1230	3070	15	1	-	69	10	3	25	6	25	64		
Благодатское месторождение. Свинцово-цинковые руды (n=13) [Blagodatsky field. Lead-zinc ores (n=13)]															
x	14840	32813	76853	353	14	23	2178	1581	589	7	6	1455	33		
s	15553	44016	133540	597	11	33	3462	2567	1104	7	5	1985	26		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
Хвостохранилище (n=22) [Tailings storage (n=22)]															
x	8526	7119	15753	77	8	14	321	170	95	58	18	81	168		
s	4386	3027	8443	38	4	2	119	63	40	90	4	65	23		
x/x*	1.74	4.6	4.9	4.6	1.75	1.6	6.8	9.3	6.2	0.12	0.33	18	0.19		
Почва (n=23) [Soil (n=23)]															
x*	55	111	227	0.8	14	43	12	30	5	553	94	3	128		
s	39	91	130	0.66	4	13	10	6	1.5	126	15	1.4	21		
x*/ПДК [x*/MPC]	27.5	3.5	9.9	0.4	4.7	2.7	10								
Тяжелый шлик (n=1) [Au – 1.81 г/т; Ag – 22.1 г/т] [Heavy concentrate (n=1) [Au – 1.81 g/t; Ag – 22.1 g/t]]															
x	38000	9310	38093	149	7.5	15	413	220	165	40	6	14	70		

Продолжение Табл. 1
[Continued Table 1]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ново-Широкинское месторождение, Свинцово-цинковые руды (n =15) [Novo-Shirokinsky field. Lead-zinc ores (n =15)]													
x	1225	219043	82607	131	-	83	2408	22964	11	-	151	51	70
s	1263	165239	93114	156	-	49	2899	22966	10	-	583	28	115
Хвостохранилище (n=9) [Tailings storage (n = 9)]													
x*	407	1045	1193	5	20	93	96	107	2	929	85	59	529
s	372	500	583	2	2	14	8	41	1.5	106	14	24	94
x/s*	3	210	69	26	-	1.7	25	215	5.5	-	1.8	0.9	0.13
Почва (n=4) [Soil (n = 4)]													
x*	17	24	65	4	12	26	2	18	3	535	80	3	236
s	5	12	36	2	7	16	1	5	0	290	46	1	22
x*/ПДК [x*/MPC]	8.5	0.75	2.8	2	4		0.44	6					
Тяжелый шпих (n=1) [Au – 0.84 г/т; Ag – 3.8 г/т] [Heavy concentrate (n=1) [Au – 0.84 g/t; Ag – 3.8 g/t]													
x	500	470	411	1.6	30	112	105	180	3	300	710	74	140
Месторождение Савинское № 5, Свинцово-цинковые руды (n=17) [Savinsky field No. 5. Lead-zinc ores (n=17)]													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
x	2250	21600	112666	507	132	114	534	8231	58	319	83	84	209
s	5349	41713	162207	770	268	7	1079	23478	95	468	74	80	244
Хвостохранилище (n=7) [Savinsky field No. 5. Lead-zinc ores (n=17)]													
x*	86	108	275	-	-	-	71	-	17	319	-	69	203
s	20	19	28	-	-	-	81	-	10	61	-	7	10
x/s*	26.1	200	410	-	-	-	7.5	-	3.4	1	-	1.2	1
Почва (n=2) [Soil (n = 4)]													
x*	165	156	327	1	13	32	9	35	3	655	91	2	210
s	21	47	51	0.2	4	8	0	7	0	233	18	0	141
x*/ПДК [x*/MPC]	84	4.9	14.2	0.5	4.3	-	2	11.7	-	-	0.6	-	-
Тяжелый шпих (n=1) [Au – 0.04 г/т; Ag – 1.0 г/т] [Heavy concentrate (n=1) [Au – 0.04 g/t; Ag – 1.0 g/t]													
x	600	319	878	1.4	7	18	25	20	25	310	21	98	270

Примечание: x – среднее арифметическое в рудах, s – стандартное отклонение, x* – среднее арифметическое в технозомах хвостохранилищ, ПДК – предельно допустимые концентрации в почвах [16], n – число анализов, - нет данных.
[Note: x is the arithmetic mean in ores, s is the standard deviation, x* is the arithmetic mean in technozems of tailings, MPC – maximum permissible concentrations in soils [16]. n is the number of analyses. - no data available.]

где ГЭр – потенциальная токсичность рудного месторождения; Тл – коэффициент литотоксичности элемента; $V = X/Q$, где X – концентрации элемента, Q – содержание элемента в окружающей среде [15].

При расчете учитывается класс токсичности элементов и фоновые концентрации элементов в окружающей среде. В нашем случае использованы средние содержания элементов в осадочных отложениях земной коры [9]. Расчеты показывают, что потенциальная токсичность свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья соответствует показателям месторождений свинцово-цинковых руд, где ГЭр колеблется от 10^3 до 10^4 (табл. 1) [13].

Для оценки степени загрязнения почв осуществлен расчет суммарного показателя Z_c загрязнения почв, приведенного по методическим указаниям 2.1.7.730-99 (2).

$$(2)Z_c = \sum_{i=1}^n K_{ci} - (n-1),$$

где n – число определяемых суммируемых веществ, C_i – концентрация определяемого вещества, C_{cp} – кларк химического элемента верхней части земной коры, $K_{ci} = C_i/C_{cp}$. [17].

Обсуждение результатов исследования

Распределение химических элементов в ПТК показывает закономерное уменьшение концентраций токсичных элементов от первого класса опасности ко второму и далее к третьему. Это объясняется соотношениями концентраций данных элементов в составе руд. Содержания элементов первого класса токсичности в полиметаллических рудах значительно превышают концентрации элементов второго и третьего классов токсичности.

Характерно, что концентрации этих элементов в почвах имеют прямо пропорциональную зависимость от концентраций в рудах. Увеличение концентраций элементов в рудах коррелируются с повышением содержания элементов в почвах (табл. 1, рис. 2). Это можно объяснить миграционной способностью элементов в почвах, а также значительными превышениями ПДК почв элементов первой группы токсичности As в 8,5 раз; Pb – 0,75–3,5 раз; Zn в 2,8–14,4 раза; Cd в 0,5–2 раза (табл. 1).

Установлено, что потенциальная токсичность свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья соответствует показателям токсичности свинцово-цинковых месторождений [13]. Расчеты показывают, что наибольшей степенью загрязнения среди полиметаллических месторождений характеризуются почвы Савинского месторождения № 5 ($Z_c=126.3$), наименьшей степенью загрязнения – почвы Ново-Широкинского месторождения ($Z_c=41.9$). По уровню загрязнения почвы рассматриваемых месторождений соответствуют высокому уровню загрязнения ($Z_c = 32-128$) [15].

Хвостохранилища исследуемых месторождений являются техногенными месторождениями благородных металлов. Наиболее перспективными являются

технозоны Акатуевского месторождения. Содержание золота в тяжелых шлихах колеблется от 1.98 г/т до 3 г/т, серебра – 19–20.5 г/т.

Заключение

Среди ПТК свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья наибольшую экологическую опасность представляют почвы в районе Савинского месторождения № 5. Суммарные показатели загрязнения почв составляет $Z_c=126.3$, что соответствует опасному уровню загрязнения. Минимальные показатели уровня загрязнения почв среди рассматриваемых месторождений установлены для Ново-Широкинского месторождения $Z_c=41.9$, что также соответствующие опасному уровню загрязнения ($Z_c = 32-128$) [15]. По степени потенциальной токсичности свинцово-цинковые месторождения Восточного Забайкалья соответствуют показателям месторождений свинцово-цинковых руд, где ГЭр колеблется от 10^3 до 10^4 [13].

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ведерников В. А. Горнозаводское производство Нерчинского горного округа в период аренды (1830–1855 гг.) // *Вестник Томского государственного университета*. 2009. № 4(8). С. 118–123.
2. Хомич И. Г., Борискина Н. Г. Совершенствование минералогического районирования Восточного Забайкалья на основе геофизических исследований // *Геология и геофизика*. 2017. Т. 58. № 7. С. 1029–1046.
3. 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.
4. Абрамов Б. Н., Цыренов Т. Г. Оценка экологической опасности на окружающую среду хвостохранилищ некоторых сульфидных месторождений Восточного Забайкалья // *Успехи современного естествознания*. 2019. № 5. С. 35–41.
5. Абрамов Б. Н., Эпова Е. С., Манзырев Д. В. Геоэкологические проблемы отработки рудных месторождений золота в Восточном Забайкалье // *География и природные ресурсы*. 2019. № 2. С. 103–111.
6. 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.
7. Еремин О. В., Абрамов Б. Н. Распределение лантаноидов и иттрия в породах и карьерных водах Шерловогорского оловополиметаллического месторождения (Восточное Забайкалье) // *Вода: химия и экология*. 2016. № 1 (91). С. 18–23.
8. Михайлютина С. И. Комплексная эколого-геохимическая оценка загрязнения тяжелыми металлами компонентов природной среды горнорудных поселений Восточного Забайкалья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2007. 21 с.
9. Чечель Л. П., Замана Л. В. Геохимические типы вод хвостохранилищ свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья // *Известия Томского политехнического*

го университета. *Инжиниринг георесурсов*. 2019. Т. 330. № 4. С. 17–25.

10. Jelenová H., Majzlan J., Amoako F. J., Drahotka P. Geochemical and mineralogical characterization of the arsenic-, iron-, and sulfur-rich mining waste dumps near Kaňk, Czech Republic // *Applied Geochemistry*. 2018. V. 97. P. 247–255. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2018.08.029.

11. Montes-Avila I., Espinosa-Serrano E., Castro-Larragoitia J. Chemical mobility of inorganic elements in stream sediments of a semiarid zone impacted by ancient mine residues // *Applied Geochemistry*. 2019. V. 100. P. 8–21. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2018.11.002.

12. Абрамов Б. Н., Калинин Ю. А., Ковалев К. Р., Посохов В. Ф. Широкинский рудный узел (Восточное Забайкалье): условия образования, геохимия пород и руд, связь с магматизмом // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2017. Т. 328. № 6. С. 6–17.

13. Голева Р. В., Иванов В. В., Куприянова И. И., Маринов Б. Н., Новикова М. И., Шпанов Е. П., Шурига Т. Н. Экологическая оценка потенциальной токсичности рудных месторождений (методические рекомендации). Москва: «ФГУП ВИМС», 2001. 53 с.

14. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве далее - нормативы, разработанные в соответствии с Федеральным законом от 30.03.1999 N 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (Собрание законодательства Российской Федерации) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dioxin.ru/doc/gn2.1.7.2041-06.htm> (дата обращения: 05.03.2020).

15. Радомская В. И., Радомский С. М., Кулик Е.Н., Павлова Л. М. Распределение и миграция элементов-токсикантов в системе почва-растение на Албынском золоторудном месторождении (Амурская область) // *География и природные ресурсы*. 2016. № 3. С. 62–69.

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

17. Войткевич Г. В., Мирошников А. Е., Поваренных А. С., Прохоров В. Г. Краткий справочник по геохимии. Москва: «Недра», 1977. 184 с.

Абрамов Баир Намжилович – д.г.-м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Российская Федерация; Email :b_abramov@mail.ru, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8905-1677>

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Bair N. Abramov – PhD, Dr. habil. in Geol.-Min., Leading Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, SB RAS, Chita, Russian Federation; E-mail: b_abramov@mail.ru ORCID, <https://orcid.org/0000-0002-8905-1677>

Author have read and approved the final manuscript.

Geoecological characteristics of natural-technogenic complexes of lead-zinc deposits in the Eastern Transbaikal

©2022 B. N. Abramov✉

Institute of Natural Resources, Ecology, and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, mailbox 1032, 16a Nedorezova ul., Chita, Russian Federation

Abstract

Introduction: Among the natural-technogenic complexes of ore deposits in the Eastern Transbaikal, lead-zinc deposits pose the biggest hazard to the environment. The purpose of the study is to determine the environmental impact of tailings from mining and processing works at lead-zinc deposits in the Eastern Transbaikal. The study provides a comparative assessment of the potential danger of natural-technogenic complexes and identifies the distribution of toxic elements of different hazard classes in ores, technozems, and soils.

Methodology: The elemental composition of samples was carried out by X-ray fluorescence in the analytical laboratories at the Geological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Ulan-Ude). The contents of precious metals were determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) in ZAO *SGS Vostok Limited* (Chita). The work is based on the factual data collected during the implementation of the basic projects of the Institute of Natural Resources, Ecology, and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences between 2000 and 2020, as well as published data and information provided by the Territorial Geological Fund for the Zabaykalsky Krai (Chita).

Results and discussion: It was established that the concentrations of elements in the natural-technogenic complexes of the studied deposits decrease from the first class of toxic hazard to the second class and then to the third class. This can be explained by the ratios of the concentrations of these elements in the ores. It was established that the potential toxicity of lead-zinc deposits in the Eastern Transbaikal corresponds to the toxicity indicators of lead-zinc deposits. The content of precious metals in heavy concentrates of technozems in the Akatuevsky deposit is: up to 3.0 g/t of Au and up to 20.9 g/t of Ag; in Blagodatsky deposit it is up to 1.8 g/t of Au and up to 22.0 g/t of Ag.

Conclusion: It was revealed that among the natural-technogenic complexes of lead-zinc deposits in the Eastern Transbaikal, the biggest environmental hazard is posed by the soils in the area of Savinsky deposit No. 5. The total soil pollution is $Z_c = 126.3$, which corresponds to a danger level. The minimum indicators of soil pollution among the studied deposits were established for the Novo-Shirokinsky deposit $Z_c = 41.9$, which also corresponds to the danger level for soil pollution ($Z_c = 32-128$).

Keywords: Lead-zinc deposits, toxic elements, tailing technozems, environmental hazard, Eastern Transbaikal.

For citation: Abramov B. N. Geoecological characteristics of natural-technogenic complexes of lead-zinc deposits in the Eastern Transbaikal. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2022, no. 1, pp. 67–76. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2022.1/9101>

Conflict of interests: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Bair G. Abramov, e-mail: b_abramov@mail.ru

REFERENCES

- Vedernikov V. A. Gornozavodskoe proizvodstvo Nerchinskogo gornogo okruga v period arendy (1830–1855 gg.) [Mining industry of Nerchinsky mining district in the period of lease (1830–1855)] // *Bulletin of Tomsk State University* 2009, no. 4(8). pp. 118–123. (In Russ.)
- Khomich V.G. Boriskina N.G. Sovershenstvovanie mineragenicheskogo raionirovaniya Vostochnogo Zabaikal'ya na nove geofizicheskikh issledovaniy [Advancement of mineragenic regionalization of Eastern Transbaikalia based on geophysical studies]. *Geologiya i geofizika – Russian Geology and Geophysics*, 2017, vol. 58. no. 7. pp. 822–835. (In Russ.)
- 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 Transbaikal)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geokologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*, 2018, no. 4, pp. 67–71. (In Russ.)
- Abramov B.N., Tsyrenov T.G. Otsenka ekologicheskoi opasnosti na okruzhayushchuyu sredu khvostokhranilishch nekotorykh sul'fidnykh mestorozhdeniy Vostochnogo Zabaikal'ya [Environmental hazard assessment on the environment of tailings of some sulfide deposits of Eastern Transbaikalia]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya – Advances in current natural sciences*, 2019, no. 5, pp. 35–41. (In Russ.)
- Abramov B. N., Epova E. S., Manzyrev D. V. Geoekologicheskie problemy otrabotki rudnykh mestorozhdeniy zolota v Vostochnom Zabaikal'e [Geoecological problems of mining gold ore deposits in Eastern Transbaikalia]. *Geografiya i prirodnye resursy – Geography and Natural Resources*, 2019, no. 2. pp. 103–111. (In Russ.)
- Abramov B. N., Eremin O. V., Filenko R. A., Tsyrenov T. G. Otsenka potentsial'noi ekologicheskoi opasnosti prirodno-tekhnogennykh kompleksov rudnykh mestorozhdeniy tochnogo Zabaikal'ya [Assessment of potential environmental hazards of natural and man-made complexes of ore deposits (Eastern Transbaikalia, Russia)]. *Geosfernye issledovaniya – Geosphere research*, 2020, no. 2, pp. 64–75. (In Russ.)
- Eremin O. V., Abramov B. N. Raspredelenie lantanoidov i itriya v porodakh i kar'ernykh vodakh Sherlovogorskogo olovo-polimetallicheskogo mestorozhdeniya (Vostochnoe Zabaikal'e) [The concentrations of heavy metals in the Akatuyevskoye polymetallic deposit technogenic landscapes (Eastern Transbaikal)]. *Voda: khimiya i ekologiya – Water: chemistry and ecology*, 2016, no. 1 (91), pp. 18–23. (In Russ.)
- Mikhail'yutina S. I. *Kompleksnaya ekologo-geokhimi-cheskaya otsenka zagryazneniya tyazhelymi metallami komponentov prirodnoi sredy gornorudnykh poseleniy Vostochnogo Zabaikal'ya*. Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. [Complex ecological and geochemical assessment of heavy metal pollution of the components of the natural environment of mining settlements in Eastern Transbaikalia: abstract of the PhD in tech. dissertation]. Irkutsk, 2007, 21 p. (In Russ.)
- Chechel' L. P., Zamana L. V. Geokhimiicheskie tipy vod khvostokhranilishch svintsovo-tsinkovykh mestorozhdeniy Vostochnogo Zabaikal'ya [Geochemical types of waters in the ingo in the Eastern Transbaikalia] // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of Tomsk State University*, 2019, vol. 330, no. 4, pp. 17–25. (In Russ.)
- Jelenová H., Majzlan J., Amoako F. J., Drahotka P. Geochemical and mineralogical characterization of the arsenic-, iron-, and sulfur-rich mining waste dumps near Kaňk, Czech Republic. *Applied Geochemistry*, 2018, vol. 97, pp. 247–255. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2018.08.029.
- Montes-Avila I., Espinosa-Serrano E., Castro-Larragoitia J. Chemical mobility of inorganic elements in stream sediments of a semiarid zone impacted by ancient mine residues. *Applied Geochemistry*, 2019, vol. 100, pp. 8–21. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2018.11.002.
- Abramov B. N., Kalinin Yu. A., Kovalev K. R., Posokhov V. F. Shirokinskiy rudnyi uzel (Vostochnoe Zabaikal'e): usloviya obrazovaniya, geokhimiya porod i rud, svyaz' s magmatizmom [Shirokinsky ore cluster (Eastern Trans-Baikal): formation conditions, petrochemistry of rocks and ores, association between mineralization and magmatism]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources*, 2017, vol. 328, no 6, pp. 6–17. (In Russ.)
- Goleva R. V., Ivanov V. V., Kupriyanova I. I., Marinov B. N., Novikova M. I., Shpanov E. P., Shuriga T. N. *Ekologicheskaya otsenka potentsial'noi toksichnosti rudnykh mestorozhdeniy (metodicheskie rekomendatsii)* [Environmental assessment of potential toxicity of ore deposits (guidelines)]. Moscow, FSUE VIMS publ., 2001, 53 p. (In Russ.)
- Pre-del'no dopustimyye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve dalee - normativy, razrabotannyye v sootvetstviy s Federal'nym zakonom ot 30.03.1999 N 52-FZ «O sanitarno-epidemiologicheskoy blagopoluchii naseleniya» (Sobranie zakonodatel'stva Rossiiskoy Federatsii) [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.dioxin.ru/doc/gn2.1.7.2041-06.htm> (data obrashcheniya: 05.03.2020). (In Russ.)
- Radomskaya V. I., Radomskii S. M., Kulik E.N., Pavlova L. M. Raspredelenie i migratsiya elementov-toksikantov v sisteme pochva-rastenie na Albynskom zolotorudnom mestorozhdenii (Amurskaya oblast') [Distribution and migration of toxic elements in the soil-plant system at the Albynskoye gold deposit (Amur Region)]. *Geografiya i prirodnye resursy – Geography and natural resources*, 2016, no. 3, pp. 62–69. (In Russ.)
- Metodicheskie ukazaniya 2.1.7.730-99. Pochva, oshchistka naselennykh punktov, bytovye i promyshlennyye otkhody, sanitarnaya okhrana pochv. Gigienicheskaya otsenka kachestva pochvy naselennykh mest* [Guidelines 2.1.7.730-99. Soil, cleaning of settlements, domestic and industrial waste, sanitary protection of soils. Hygienic assessment of soil quality in populated areas.]. Moscow, Federal Centre for State Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Ministry of Health of Russia publ., 1999, 38 c. (In Russ.)
- 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 Russ.)