

## ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 504.1(571.55)

### ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ, РОССИЯ)



Б.Н. Абрамов, О.В. Еремин, Р.А. Филенко, Т.Г. Цыренов

*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия*

Проведен анализ распределения химических элементов в природно-техногенных комплексах рудных месторождений Восточного Забайкалья, включающих их концентрации в рудных ассоциациях, а также в технозомах хвостохранилищ. Выявлено, что наибольшую экологическую опасность для природной среды представляют хвостохранилища полиметаллических и оловополиметаллических месторождений.

**Ключевые слова:** *типы месторождений, хвостохранилища, технозоны, токсичные элементы, экологическая опасность, Восточное Забайкалье.*

#### Введение

Влияние исторических горнорудных территорий на окружающую среду является актуальной темой современных междисциплинарных исследований [Dold 2014; Абдрахманов, Ахметов, 2016; Винокуров и др., 2016; Rzymiski et al., 2017; Hani et al., 2018; Jelenová et al., 2018; Daniell et al., 2019; Elghali et al., 2019; Khoeurn et al 2019; Lu et al., 2019; Montes-Avila et al., 2019; Saljnikov et al., 2019; Ahn et al., 2020; Shahhosseini et al., 2020; Gutiérrez et al., 2020 и др.].

Забайкальский край относится к числу старейших горнодобывающих регионов России. Рудные месторождения начали обрабатываться с 1879 г. небольшими рудниками [Юргенсон, 1999]. На территории Забайкальского края известны многочисленные рудопрооявления и месторождения золота, молибдена, олова, редкометалльных и полиметаллических месторождений (рис. 1, табл. 1).

Природно-техногенный комплекс рудных месторождений включает в себя природные и техногенные (созданные человеком) составляющие окружающей среды. В качестве техногенных объектов в настоящей работе рассматриваются территории, изменённые в результате деятельности горнообогатительных комбинатов (ГОК) на отработанных и эксплуатирующихся месторождениях.

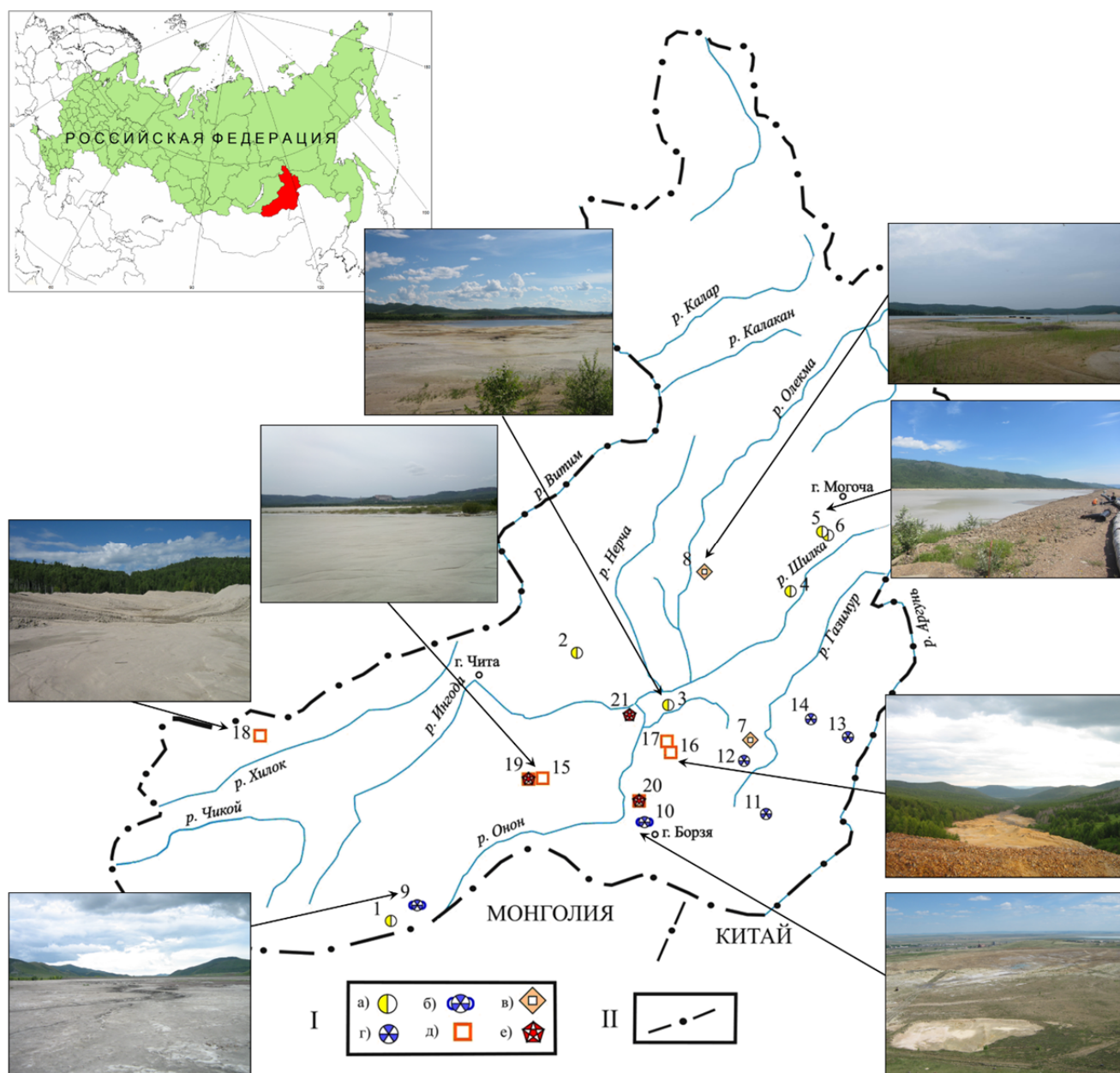
За трехсотлетний период функционирования горнорудных предприятий общая площадь земель, занятых под техногенные образования, составляет около 4 000 га, из них 1 285,1 га составляют хвостохранилища [Харитонов и др. 2002]. Кадастром техногенных скоплений на территории Восточного За-

байкалья учтено 88 объектов техногенных образований, созданных 13 бывшими и 33 существующими предприятиями по добыче и переработке минерального сырья [Михайлютина, 2007]. При хранении отходы горнорудного производства претерпевают физико-химические изменения, сопровождающиеся формированием новообразованных соединений, значительная часть которых является токсичными.

Изучением влияния хвостохранилищ рудных месторождений на экологическое состояние окружающей природной среды Восточного Забайкалья занимались многие исследователи [Юргенсон, 1999; Харитонов, 2002; Мязин и др., 2006; Михайленко, 2006; Михайлютина, 2007; Птицын, 2014; Еремин и др., 2014; Еремин, Абрамов, 2016; Абрамов, 2018; Абрамов, Цыренов, 2019; Абрамов и др. 2019; Эпова и др., 2020].

#### Задачи и методы исследований

Основной задачей исследования являются установление особенностей распределения токсичных химических элементов в природно-техногенных комплексах различных типов рудных месторождений Восточного Забайкалья, расчет их потенциальной экологической опасности. Для решения этой задачи использованы данные по содержаниям элементов в рудных телах и хвостохранилищах извлекательных фабрик. Сведения по концентрациям химических элементов в рудах и в технозомах хвостохранилищ получены при проведении исследований по базовым проектам Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН с 2000 по 2018 г.



**Рис. 1. Схема размещения хвостохранилищ некоторых рудных месторождений Восточного Забайкалья**

I – хвостохранилища рудных месторождений. а) золота: 1 – Любавинского, 2 – Дарасунского, 3 – Балеysкого, 4 – Карийского, 5 – Александровского, 6 – Ключевского; б) молибденовых: 7 – Шахтаминского; 8 – Жирекенского; в) олово-полиметаллических: 9 – Хапчерангинского; 10 – Шерловогорского; г) полиметаллических: 11 – Кличкинского; 12 – Акатуевского; 13 – Благодатского; 14 – Ново-Широкинского; д) вольфрамовых: 15 – Спокойнинского; 16 – Антоновогорского; 17 – Букукинского; 18 – Бом-Горхонского; е) редкометалльных: 19 – Орловского; 20 – Мало-Кулидинского; 21 – Завитинского. II – государственные и административные границы

**Fig. 1. Scheme of location of tailing dumps of some ore deposits in Eastern Transbaikalia**

I – Tailings dumps of ore deposits. a) gold: 1 – Lubavinsky, 2 – Darasunsky, 3 – Baleysky, 4 – Kariysky, 5 – Aleksandrovsky, 6 – Klyuchevsky; b) molybdenum: 7 – Shakhtamsky; 8 – Zhirekensky; c) tin – polymetallic: 9 – Khapcheranginsky; 10 – Sherlyovogorsky; 11 – Klitschkinsky; 12 – Akatuevsky; 13 – Blagodatsky; 14 – Novo-Shirokinsky; e) tungsten: 15 – Spokoyninsky; 16 – Antonovorsky; 17 – Bukukukinsky; 18 – Bom-Gorkhonsky; f) rare-metal: 19 – Orlovsky; 20 – Malo-Kulidinsky; 21 – Zavitinsky. II – state and administrative borders

Таблица 1

Хвостохранилища рудных месторождений Восточного Забайкалья [Юргенсон, 1999; данные территориального геологического фонда по Забайкальскому краю (г. Чита)]

Table 1

Tailings dumps of ore deposits of the Eastern Transbaikalia [Yurgenson, 1999; data of the territorial geological fund on the Transbaikalia region (Chita)]

Месторождение, главное полезное ископаемое	Вид объекта	Площадь, га	Объем объекта		Среднее содержания элементов
			тыс. м <sup>3</sup>	тыс. т.	
Ключевское Au	Хвостохранилище отходов флотации	68	4 860	11 180	Au – 0,77 г/т
			650		Ag – 0,9 г/т
Давендинское Au	Хвостохранилище хвостов цианирования	30	1 500		Au – 0,6 г/т
					Ag – 2–3 г/т
Александровское Au	Хвостохранилище отходов флотации	21	1 340	3 485	Au – 0,5 г/т
					Mo – 0,04%
Любавинское Au	Хвостохранилище	16	190	285	Au – 1,79 г/т
Балейское Au	Хвостохранилище ЗИФ-1	56,2	5 350	10 436	Au – 1,2 г/т
Тасеевское Au	Хвостохранилище ЗИФ-2	47	13 240	23 834	Au – 0,65 г/т
					Ag – 0,37 г/т
Карийское Au	Хвостохранилище	3,6	143	400	Au – 0,35 г/т
Дарасунское Au	Хвостохранилище	80	1 745	4 710,2	Au – 0,36 г/т
					Ag – 1,18 г/т
Дарасунское Au	Отвалы кеков цианирования	1,5	40	100	Au – 7,00 г/т
					Ag – 9,3 г/т
Жирекенское Mo	Хвостохранилище отходов флотации	70	5 135	13 352	Mo – 0,028%
					Ag – 0,5 г/т
Кличкинское Pb-Zn	Хвостохранилище	56	1 645	4 392	Zn – 0,493%,
					Pb – 0,12%
Акатуевское Pb-Zn	Хвостохранилище	15	500	1 374	Zn – 0,628%,
					Pb – 0,279%
Благодатское Pb-Zn	Хвостохранилище	37	747	2 017,4	Zn – 1,188%,
					Pb – 0,595%
Хапчерангинское Sn-Pb-Zn	Хвостохранилище хвостов обогащения	4	2 340	6 200	Sn – 0,09%
					Zn – 0,2–1%
Шерловгорское Sn-Pb-Zn	Хвостохранилище хвостов обогащения	80	6 648	17 617,3	Pb – 0,1–0,2%
					Sn – 0,068%,
Антоновгорское W	Хвостохранилище хвостов гравитации	0,3	12	26,4	Zn – 0,52%,
					Pb – 0,26%
Белухинское W	Хвостохранилище	0,3	7,5	16,5	WO <sub>3</sub> – 0,121%
Букуинское W	Хвостохранилище	3,6	252	544,5	WO <sub>3</sub> – 0,136%
Бом-Горхонское W	Хвостохранилище	3	117	313,5	WO <sub>3</sub> – 0,128%
Орловское Ta-Nb	Хвостохранилище № 2	100	5 115	8 180	WO <sub>3</sub> – 0,4%
Спокойнинское W	Хвостохранилище	–	147	250	WO <sub>3</sub> – 0,041%
					Be – 0,024%
Мало-Кулиндинское Ta-Nb	Хвостохранилище	–	147	250	Ta – 0,012%
					Nb – 0,009%
Завититинское Ta-Nb	Хвостохранилище № 1	20	6 000	7 560	Li <sub>2</sub> O – 0,24%
					BeO – 0,02%
Завититинское Ta-Nb	Хвостохранилище № 2	15	3 377	4 255	Li <sub>2</sub> O – 0,24%
					BeO – 0,02%
Завититинское Ta-Nb	Хвостохранилище № 3	0,6	142	167	BeO – 0,2%
Орловское Ta-Nb	Хвостохранилище № 1	30	1 847	3 174	WO <sub>3</sub> – 0,208%
					Be – 0,024%

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), ICP-MS ЗАО «SGS Vostok Limited» (г. Чита).

### Распределение токсичных химических элементов в природно-техногенных комплексах рудных месторождений Восточного Забайкалья

К природным комплексам рудных месторождений нами отнесены продуктивные рудные ассоци-

ции, к техногенным комплексам – техноземы хвостохранилищ рудных месторождений. Рассмотрим распределение химических элементов первого, второго и третьего классов токсической опасности [СанПиН № 2.1.7.1287-03] в продуктивных рудных ассоциациях и в техноземах рудных месторождений Восточного Забайкалья. Содержание элементов в рудах возьмем за 100%, относительно этих данных рассчитаем концентрации элементов в хвостохранилищах. Кроме этого, рассчитаем коэффициент концентрации элементов в хвостохранилищах (табл. 2).

Таблица 2  
Средние содержания элементов в рудах и в техноземах хвостохранилищ месторождений Восточного Забайкалья, г/т

Table 2  
Average element concentrations in ores and technozems of the tailings deposit dumps in Eastern Transbaikalia, g/t

Элемент	As	Pb	Zn	Cd	Cu	Sn	Mo	Sb	Ba	Sr
Кларк ***	1,7	16	83	0,13	47	2,5	1,1	0,5	650	340
КТ *	I			II				III		
Тл **	10	10	5	15	5	5	5	10	15	15
<i>l</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
<b>Золоторудные месторождения</b>										
<i>Балейское.</i> Золотоносные рудные зоны (n = 68)										
x	1284	10	50	–	62	–	2	326	–	–
s	969	6	39	–	28	–	1,2	545	–	–
Отвалы золото-извлекательной фабрики № 2 (n = 18) ГЭр = 9 107										
x/КК	939/552	17/1,1	34/0,4	–	47/1	–	2/1,8	178/356	–	–
s	358	12	23	–	28	–	2	103	–	–
(%*)	73	170	68	–	76	–	100	54,6	–	–
<i>Любавинское.</i> Золотоносные кварцевые жилы (n = 10)										
x	9831	110	141	0,6	39	7	8	27	214	104
s	10702	129	51	–	–	4	–	20	150	138
Отвалы золото-извлекательной фабрики (n = 2) ГЭр = 10 988										
x/КК	1860/1094	21/1,3	65/0,8	–	23/0,5	5/2	4/3,6	–	–	–
s	2107	8	8	–	3	2	3	–	–	–
(%*)	18,9	19	46	–	58,9	71,4	50	–	–	–
<i>Карийское.</i> Золотоносные кварцевые жилы (n = 18)										
x	8709	339	93	–	648	31	49	83	485	320
s	28754	435	97	–	511	28	44	89	578	184
Отвалы золото-извлекательной фабрики (n = 7) ГЭр = 2 983										
x/КК	237/139	135/8,4	47/1	–	146/3,1	30/12	15/13,6	68/136	–	–
s	91	66	20	–	66	7	4	77	–	–
(%*)	0,95	61	50,5	–	22,5	96,7	30,6	81,9	–	–
<i>Ключевское.</i> Золотоносные кварцевые жилы (n = 7)										
x	924	22	59	0,7	230	7	26	52	200	417
s	767	21	16	–	187	3	23	48	352	253
Отвалы золото-извлекательной фабрики (n = 7) ГЭр = 2 590										
x/КК	286/168,2	26/1,6	45/0,5	–	107/2,3	3/1,2	7/6,4	42/84	–	–
s	59	4	9	–	30	1	2	3	–	–
(%*)	30,9	118,2	76,3	–	46,5	42,9	26,9	100	–	–
<i>Илинское.</i> Брекчии сульфидизированные (n = 8)										
x	1 711	23	43	–	–	6	7	42	381	160
s	1 272	7	15	–	–	7	2	84	151	56
l	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Отвалы золото-извлекательной фабрики (n = 3) ГЭр = 5 734										
x/КК	946/556,5	18/1,1	30/0,4	–	13/0,3	5/2	1/0,9	7/14	–	–
s	267	4	5	–	9	1	1	1	–	–
(%*)	55,3	78,3	69,8	–	–	83,4	14,3	16,7	–	–
<i>Александровское.</i> Золотоносные кварцевые жилы (n = 36)										
x	679	514	188	6	10 867	7	812	75	624	324
s	1 756	1 181	529	6	56 812	6	3 456	113	723	475

Хвостохранилище (n = 7) ГЭр = 2 380										
х/КК	34/20	44/2,7	57/0,7	7/53,8	88/1,9	30/12	131/119	32/64	768/1,2	457/1,3
s	18	35	27	0	107	0	300	6	180	229
(%*)	5	8,6	30,3	116,7	0,8	427	16,1	42,7	123	141
Полиметаллические месторождения										
<i>Акатувское.</i> Свинцово-цинковые руды (n = 13)										
х	30 575	62 889	122 265	1 007	798	10	6	–	–	–
s	46 747	72 289	136 047	829	558	14	3	–	–	–
Хвостохранилище (n = 26) ГЭр = 61 803										
х/КК	8 759/5 152	3 491/218	9 311/112	56/430	241/5,1	6,9/2,8	3,3/3,0	51/101	148/0,2	586/1,7
s	4 770,4	1 881,0	6 552,3	34,7	143,7	5,2	2,0	27,3	84,5	231,1
(%*)	28,6	5,5	7,6	5,6	30,2	69	55	–	–	–
<i>Благodatское.</i> Свинцово-цинковые руды (n = 10)										
х	296 825	206 403	232 968	291	1 223	356	9,7	1226	11,9	28,1
s	911 568	271 411	350 243	404	1 884	612	8,1	1 187,9	9,9	23,8
Хвостохранилище (n = 27) ГЭр = 74 441										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
х/КК	9 078/5 340	7 419/464	17 008/205	76/583	174/3,7	85/34	1,1/1	322/643	108/0,2	114/0,3
s	5 046	2 739	8706	37	66	37	0,4	108	68	67
(%*)	3,1	3,6	7,3	26,1	14,2	23,9	11,4	26,3	909,1	405,6
<i>Ново-Широкинское.</i> Свинцово-цинковые руды (n = 12)										
х	1 330	239 720	89 941	144	39 661	11	19	2159	355	53
s	1 480	168 213	97 489	172	58 882	12	14	3297	490	82
Хвостохранилище (n = 9) ГЭр = 5607										
х/КК	398/234	1 045/65	1 193/14	4,8/37	107/2,3	2,3/0,9	2,3/2,1	96/192	929/1,4	529/1,6
s	376	500	583	1,5	41	1,6	0,5	8,5	106	94
(%*)	29,9	0,4	1,3	3,3	0,3	20,9	12,1	4,4	262	998
Оловополиметаллические месторождения										
<i>Шерловогорское.</i> Оловополиметаллические руды (n = 15)										
х	33 864	28 759	81 342	1 653	15 073	3 271	–	787	88	58
s	38 986	31 241	80 988	2 271	31 896	5 686	–	659	96	75
Хвостохранилище (n = 9) ГЭр = 7 956										
х/КК	498/293	1 562/98	1 703/20,5	14/108	187/4	595/238	–	55/110	345/0,5	130/0,4
s	245	1513	1206	14	77	459	–	20	33	69
(%*)	1,5	5,4	2,1	0,8	1,2	18,2	–	7	392	118,9
<i>Ханчерангинское.</i> Оловополиметаллические руды (n = 11)										
х	6 046	20 869	164 303	1 541	6 167	20 454	14	222	33	363
s	16 607	26 659	136 994	760	3 630	40 165	5	336	44	468
Хвостохранилище (n = 17) ГЭр = 4724										
х/КК	389/229	1215/76	3 211/39	5/38,5	145/3,1	418/167	–	10/20	551/0,8	175/0,5
s	235	1 283	3 346	5	133	321	–	5	56	29
(%*)	6,4	5,8	1,9	0,3	2,4	2	–	4,5	1 669	48,2
Молибденовые месторождения										
<i>Шахтаминское.</i> Кварц-молибденитовые руды (n = 9)										
х	1 230	8 496	3 060	51	7 033	5	25 722	3 142	20	55
s	8 143	16 821	3623	74	8 143	4	16 016	8 429	12	48
Хвостохранилище (n = 7) ГЭр = 6979										
х/КК	114/67	2209/138	1243/15	3/23	737/16	9/3,6	679/617	65/130	719/1,1	208/0,6
s	109	3406	556	1	744	5	466	55	257	99
(%*)	9,3	26,0	40,6	5,9	10,5	180	2,6	2,1	3595	378
<i>Давендинское.</i> Кварц-молибденитовые руды (n = 7)										
х	13	97	10	1	11	11	11 237	10	92	14
s	20	222	6	–	11	10	2 486	8	171	10
Хвостохранилище (n = 5) [Юргенсон] ГЭр = 927										
х/КК	79/46,5	39/2,4	19/0,2	–	96/2	2/0,8	35/32	13/26	108/0,2	–
s	66	81	44	–	43	1	100	5	106	–
(%*)	607	40,2	190	–	873	18,2	0,31	130	117	–
<i>Жирекенское.</i> Кварц-молибденитовые руды (n = 9)										
х	24	129	55	3	97	12	29 377	83	217	95
s	12	160	36	2	122	9	18 603	143	186	95
Хвостохранилище (n = 11) ГЭр = 2007										
х/КК	37/21,7	64/4	83/1	7/53,8	500/4,1	30/12	181/166	–	643/0,9	326/0,9
s	13	41	44	0	227	0	177	–	33	31
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
(%*)	154	49,6	151	233	515	250	0,6	–	296	343

<b>Вольфрамовые месторождения</b>										
<i>Антоновогорское. Руды (n = 14)</i>										
x	1 811	221	7 369	230	–	96	17	4	17	16
s	2 080	245	8 543	99	–	175	22	2	18	9
<i>Букукинское. Руды (n = 14)</i>										
x	1 901	8 439	16 118	291	–	487	318	102	71	284
s	2 167	11 968	14 876	546	–	1 025	779	204	74	378
<i>Бом-Горхонское. Руды (n=5)</i>										
x	626	626	19347	167	612	30	141	–	42	24
s	624	755	31546	188	480	12	199	–	45	27
Хвостохранилище (n = 3) ГЭр = 2 984										
x/КК	78/45,9	86/5,4	900/10,8	16/123	270/5,7	109/44	68/62	–	524/0,8	24/0,07
s	16	30	558	13	0	42	61	–	58	26
(%*)	12,5	13,7	4,6	9,6	44,1	363	48,2	–	1 278	100
<b>Редкометалльные месторождения</b>										
<i>Орловское танталовое</i>										
Хвостохранилище (n = 15) ГЭр = 362										
x/КК	25/14,7	41/2,6	128/1,5	0,4/3,1	8/0,2	39/15,6	3/2,7	2/4	44/0,06	31/0,09
s	12	24	79	0,2	0	13	2	3	27	17
<i>Завитинское. Литиевое руды (n = 11)</i>										
x	12	22	91	0,2	5	68	–	0,3	23	34
s	10	30	85	0,1	2	56	–	0,1	30	25
Хвостохранилище (n = 11) ГЭр = 24842										
x/КК	292/172	29/1,8	69/0,8	0,2/1,53	14/0,3	31/12,4	2/1,8	901/1 802	166/332	98/0,3
s	426	12	34	0,1	12	10	2	1 621	166	54
(%*)	2433	132	75,8	100	280	45,6	–	300 333	722	288
<i>Мало-Кулиндинское. Литиевое руды (n = 3)</i>										
x	12	–	–	0,4	5	–	–	–	67	–
s	3	–	–	0,3	2	–	–	–	107	–
Хвостохранилище (n = 11) ГЭр = 388										
x/КК	33/19,4	24/1,5	88/1,1	0,5/3,8	11/0,2	47/18,8	1/0,9	0,3/0,6	142/0,2	179/0,5
s	4	2	14	0	2	10	0,3	0,1	34	27
(%*)	275	–	–	125	220	–	–	–	212	–

*Примечание.* x – среднее арифметическое, s – стандартное отклонение, n – число анализов. «–» – нет данных, КТ\* – коэффициент токсичности [СанПиН № 2.1.7.1287-03], Тл\*\* – литотоксичность [Голева и др., 2001], КК – коэффициент концентрации, КК = x/кларк. (%\*) – процентные содержания элементов в техноземах хвостохранилищ (за 100% принято содержание элементов в рудах), \* – [Войткевич и др., 1977], ГЭр – «потенциальная токсичность» (см. формулу (1)).

*Note.* x – arithmetic mean, s – standard deviation, n – number of analyses. «–» – no data, CT\* – toxicity factor [SanPiN No 2.1.7.1287-03], Tl\*\* – lithotoxicity [Goleva et al., 2001], KK – concentration coefficient, KK = x/clark. (%\*) – percentage of elements content in technozems of tailing dumps (100% of elements content in ores is accepted), \* – [Voitkevich et al., 1977], GEr – «potential toxicity» (see formula (1)).

Выявлено, что в золоторудных месторождениях концентрации элементов в техноземах хвостохранилищ относительно процентных содержаний в рудах имеют существенные различия. Так, в Балейском золоторудном месторождении содержание As в техноземах составляет 73% от содержания As в руде, содержание Pb – 170%, Zn – 68%, Mo – 100%, Sb – 54,6%. При этом коэффициенты концентрации (КК) составляют соответственно: Pb – 552; Pb – 1,1; Zn – 0,4; Mo – 1,8; Sb – 356. Характерно, что в золоторудных месторождениях концентрации токсичных элементов первого и второго классов в большинстве своем составляют 30–70% от их содержаний в рудах. Наибольшими КК в техноземах характеризуются As, составляя в хвостохранилище Любавинского месторождения 1094, Балейского – 552. Остальные токсичные элементы по содержаниям близки к кларкам.

Распределение химических элементов в техноземах хвостохранилищ полиметаллических, оловополиметаллических месторождений по сравнению с техноземами золоторудных месторождений имеют существенные отличия. Так, в сравнении с рудами, концентрации элементов в техноземах полиметаллических, оловополиметаллических месторождений в большинстве своем составляют менее 10% от содержания их в рудах. КК в значительной части элементов достигают значений более 100 (табл. 2). В техноземах золоторудных месторождений содержания элементов в основном составляют 20–70% от содержаний их в рудах. В молибденовых месторождениях значения КК элементов в техноземах близки к таковым в золоторудных месторождениях. Выявлено, что в техноземах Жирекенского и Давендинского месторождений отмечается значительное превышение содержаний As, Zn, Cu, Cd в сравнении с рудами. Это можно объяс-

нить особенностями минерального состава кварц-молибденитовых руд, наличием в рудных зонах вкрапленной арсенопиритовой, медной и полиметаллической минерализации, вовлекаемой в технологический процесс обогащения руд.

Содержание элементов в техноземах Бом-Горхонского вольфрамового месторождения в преобладающей части элементов составляют около 10% от содержания в рудах. Исключением является Sn, содержание которого – 363% в сравнении с концентрацией в руде. В Завитинском и Мало-Кулиндинском литиевых месторождениях содержания As, Pb, Cd, Cu и Sb в техноземах превышают их концентрации в рудах, в Орловском танталовом месторождении наблюдается обратная зависимость. КК преобладающей части элементов варьируют и составляют несколько кларков. КК в техноземах в значительной части элементов варьируют от долей процента до 18%. Исключение составляет содержание Sb на Завитинском месторождении, КК равен 1802.

Характерной особенностью природно-техногенных образований рудных месторождений является преобладание Ba и Sr в техноземах относительно их концентраций в рудах. Это объясняется накоплением минералов носителей Ba и Sr в хвостохранилище в процессе обогащения исходной руды.

### Оценка токсичности хвостохранилищ рудных месторождений Восточного Забайкалья

В Забайкальском крае ГОК многих месторождений являются градообразующими. Здоровье населения горнорудных поселков в значительной степени зависит от техногенного загрязнения окружающей среды [Витковский и др., 2018; Эпова и др., 2020]. Последствия воздействия токсичности связано с возникновением болезней органов пищеварения, дыхания, эндокринной системы, злокачественных образований, врожденных патологий и других заболеваний. Среди техногенных образований объекты повышенной опасности представляют хвостохранилища ГОК.

Техноземы хвостохранилищ состоят преимущественно из нерудных минералов (полевои шпат, кварц и др.), в небольшом количестве встречаются сульфиды. Минеральный состав техноземов хвостохранилищ напрямую связан с минеральным составом рудных ассоциаций сульфидных месторождений. В рудах рассматриваемых месторождений главные рудные минералы, в состав которых входят токсичные элементы, представлены: пиритом ( $\text{FeS}_2$ ), арсенопиритом ( $\text{FeAsS}$ ), халькопиритом ( $\text{CuFeS}_2$ ), сфалеритом ( $\text{ZnS}$ ), галенитом ( $\text{PbS}$ ), молибденитом ( $\text{MoS}_2$ ), антимонитом ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ), касситеритом ( $\text{SnO}_2$ ), блеклыми рудами (теннантит  $\text{Cu}_3\text{AsS}_3$ , тетраэдрит  $\text{Cu}_3\text{SbS}_3$ ). Кадмий входит в виде изоморфной приме-

си 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, главным образом, превышают их содержания в рудах. При изучении хвостохранилищ особое внимание уделяют минералогическому анализу с выделением гипергенных стадий минералообразования. Выделяют следующие стадии их трансформации в зоне окисления: сульфиды – сульфаты – карбонаты (окислы). Минералы сульфатной стадии обладают повышенной растворимостью и представляют наибольшую опасность для окружающей среды. Модельные эксперименты по сернокислотному выщелачиванию золотосодержащих руд Любавинского и Ключевского золоторудных месторождений показали высокую подвижность таких элементов, как As, Ca, Fe, Cu, Pb, Zn [Эпова и др., 2019].

Хвостохранилища изучаемых месторождений отличаются составом пород и руд, разным временем их образования. Степень гипергенных преобразований техноземов хвостохранилищ зависит от количества и состава сульфидов. Хвостохранилища с повышенными содержаниями сульфидов характеризуются более высокой кислотностью водных растворов, являющихся главными факторами выщелачивания и миграции токсикантов. Большое значение имеет также временной интервал их существования. Процесс перехода сульфидных минералов в окисленные формы может протекать до сотен лет.

Для оценки «потенциальной токсичности рудных месторождений» (ГЭр) использовалась формула, предложенная в работе [Голева и др., 2001]:

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

где Тл(i) – коэффициент литотоксичности элемента i (табл. 2);  $\text{В}(i) = \text{X}(i)/\text{Q}(i)$ , где X(i) – концентрации и Q(i) – кларк земной коры по Виноградову [Войткевич и др., 1977] элемента i, n – количество рассматриваемых элементов.

Расчетные данные указывают на то, что наибольшей токсичностью характеризуются хвостохранилища полиметаллических и оловополиметаллических месторождений (табл. 2). Среди них наибольшей потенциальной опасностью обладают техноземы Благодатского полиметаллического месторождения ГЭр = 74 441, наименьшей – техноземы Ново-Широкинского полиметаллического месторождения ГЭр = 5 607. Среди техноземов золоторудных месторождений наибольшую экологическую опасность представляют техноземы Любавинского месторождения ГЭр = 10 988, наименьшую – техноземы Александровского месторождения ГЭр = 2 380. Среди молибденовых месторождений наибольшей токсичностью характеризуются хвостохранилища Шахтаминского месторождения ГЭр = 6 979, наименьшей – хвостохранилища Давендинского ме-

сторождения ГЭр = 927. Среди рассматриваемых месторождений наименьшую экологическую опасность представляют хвостохранилища редкометалльных и вольфрамовых месторождений. Так, токсичность техноземов Орловского месторождения составляет ГЭр = 362, Мало-Кулиндинского месторождения – ГЭр = 388 (табл. 2).

### Обсуждение результатов исследований

Проведенный анализ проб хвостохранилищ показал наличие в них высоких содержаний токсичных элементов, превышающих кларки. Среди токсичных элементов наиболее высокими содержаниями характеризуются As. В техноземах Благодатского полиметаллического месторождения концентрации As составляют 9 078 г/т, Акатуевского полиметаллического месторождения – 8 759 г/т, Любавинского золоторудного месторождения – 1860 г/т. Высокие содержания токсикантов, в ряде случаев составляющих более 1 000 г/т, соответствуют уровню рудных концентраций. Установлено, что содержания токсичных элементов в хвостохранилищах золоторудных и молибденовых месторождений в большинстве своем составляют 20–70% от содержаний их в рудах, в полиметаллических и оловополиметаллических месторождениях – 0–10%, в редкометалльных месторождениях превышают 100%. Эти отличия объясняются минеральным составом руд различных типов месторождений, технологиями обогащения в ГОКах. Так, в свинцово-цинковых месторождениях Pb и Zn извлекаются при обогащении, этим объясняются незначительные их содержания в техноземах, в сравнении с их концентрациями в рудах.

Расчет токсичности техноземов различных месторождений показал, что среди рудных месторождений

Восточного Забайкалья наибольшей экологической опасностью характеризуются хвостохранилища Благодатского (ГЭр = 74441) и Акатуевского (ГЭр = 61803) полиметаллических месторождений. Значения содержаний токсичных элементов в хвостохранилищах редкометалльных месторождений близки к фоновым и не являются экологически опасными.

Отметим, что величина ГЭр «потенциальной токсичности» не учитывает количества опасных элементов (в общих объемах и массах материала хвостохранилищ) и скорости их рассеивания. С течением времени величины ГЭр могут меняться из-за выноса из хвостохранилищ в среде кислотных природных растворов в первую очередь высокоподвижных элементов, таких как цинк, кадмий и медь, или концентрирования металлоидов переменной валентности (As, Sb) в восстановительных условиях.

### Заключение

В процессе исследований проведен сравнительный анализ распределения токсичных элементов в природно-техногенных комплексах рудных месторождений Восточного Забайкалья.

Выявлено, что наибольшую экологическую опасность для природной среды представляют полиметаллические и оловополиметаллические месторождения. Установлено, что концентрации токсичных элементов в хвостохранилищах золоторудных и молибденовых месторождений относительно их содержаний в рудах в основном составляют 20–70%, полиметаллических месторождений – 0–10%, в редкометалльных месторождениях превышает 100%. Эти отличия объясняются особенностями минерального состава руд и технологиями их обогащения.

### ЛИТЕРАТУРА

- Абдрахманов Р.Ф., Ахметов Р.М. Гидрогеохимия горнорудных районов // Геохимия. 2016. № 9. С. 829–840. DOI: 10.7868/S0016752516080021
- 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.
- 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. DOI: 10.18411/1681-7494-2019-5-35-41
- Абрамов Б.Н., Эпова Е.С., Манзырев Д.В. Геоэкологические проблемы обработки рудных месторождений золота в Восточном Забайкалье // География и природные ресурсы. 2019. № 2. С. 103–111. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-2(103-111)
- Винокуров С.Ф., Гурбанов А.Г., Богатиков О.А., Карамурзов Б.С., Газеев В.М., Лексин А.Б., Шевченко А.В., Долов С.М., Дударов З.И. Содержания, сезонные колебания и формы миграции макро- и микроэлементов в поверхностных водах в районе деятельности Тырныаузского вольфрамово-молибденового комбината (ТВМК) и прилегающих территорий (Кабардино-Балкарская Республика) и меры по восстановлению экологической среды // Доклады Академии наук. 2016. Т. 467, № 4. С. 436–467. DOI: 10.7868/S0869565216100224
- Витковский Ю.А., Михайлова Л.А., Бондаревич Е.А., Солодухина М.А., Эпова Е.С., Еремин О.В., Алексеева О.Г., Бурлака Н.М., Лапа С.Э., Барановская Н.В., Агеева Е.В. Влияние антропогенных геохимических факторов среды обитания на элементный статус детей п. Хапчеранга (Восточное Забайкалье) // Забайкальский медицинский вестник. 2018. № 2. С. 14–23.
- Войткевич Г.В., Мирошников А.Е., Поваренных А.С., Прохоров В.Г. Краткий справочник по геохимии. М.: Недра, 1977. 184 с.



- 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). М.: РИЦВИМС, 2001. 53 с.
- Еремин О.В., Абрамов Б.Н.** Распределение лантаноидов и иттрия в породах и карьерных водах Шерловгорского олово-полиметаллического месторождения (Восточное Забайкалье) // *Вода: химия и экология*. 2016. № 1 (91). С. 18–23.
- Еремин О.В., Эпова Е.С., Юргенсон Г.А., Смирнова О.К.** Прогноз геоэкологических последствий разработки месторождения вольфрама Бом-Горхон (Забайкалье) // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2014. Т. 22, № 2. С. 125–131.
- Михайленко В.Н.** Проблема техногенных отходов горного производства в России // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2006. № 2. С. 121–123.
- 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.
- Мязин В.П., Михайлютина С.И.** Комплексная оценка техногенного загрязнения почв и продуктов питания тяжелыми металлами при размещении хвостохранилищ в Восточном Забайкалье // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2006. № 9. С. 164–170.
- Птицын А.Б.** Проблемы освоения техногенных месторождений Забайкалья // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири*. 2014. № S3-2. С. 128–130.
- СанПиН № 2.1.7.1287-03** «Санитарно-Эпидемиологические требования к качеству почвы». URL: <http://docs.cntd.ru/document/901859456> (дата обращения: 26.02.2020).
- Харитонов Ю.Ф., Васильев Д.А. и др.** Эколого-экономическая оценка горнопромышленного комплекса Читинской области // *Ресурсы Забайкалья. Спец. вып. Чита, 2002. С. 42–47.*
- Эпова Е.С., Солодухина М.А., Еремин О.В., Михайлова Л.А., Алексеева О.Г., Бурлака Н.М., Лапа С.Э.** Мониторинг содержания мышьяка, свинца, кадмия, цинка и меди в компонентах окружающей среды населенного пункта Шерловая Гора (Восточное Забайкалье) // *Гигиена и санитария*. 2020. № 99(2). С. 210–216.
- Эпова Е.С., Юргенсон Г.А., Еремин О.В.** Экспериментальное моделирование процессов выщелачивания руд месторождения Любовь (Забайкалье) // *Доклады академии наук*. 2019. Т. 486, № 4. С. 469–474. DOI: 10.31857/S0869-56524864469-474
- Юргенсон Г.А.** Геологические исследования и горнопромышленный комплекс Забайкалья: История, современное состояние, проблемы, перспективы развития. К 300-летию основания Приказа рудокопных дел. Новосибирск : Наука, 1999. 574 с.
- Ahn Y., Yun H., Pandi K., Park S., Ji M., Choi J.** Heavy metal speciation with prediction model for heavy metal mobility and risk assessment in mine-affected soils // *Environmental science and pollution research international*. 2020. V. 27(3). P. 3213–3223. DOI: 10.1007/s11356-019-06922-0
- Daniell A., Malo D.S., Van Deventer P.W.** Monitoring the pollution effects from a gold tailing storage facility on adjacent land through Landscape Function Analysis // *Environmental earth sciences*. 2019. V. 78 (3, 82). 14 p. DOI: 10.1007/s12665-019-8095-5
- Dold B.** Evolution of Acid Mine Drainage Formation in Sulphidic Mine Tailings // *Minerals*. 2014. V. 4 (3). P. 621–641. DOI: 10.3390/min4030621
- Elghali A., Benzaazoua M., Bussière B., Kennedy C., Parwani R., Graham S.** The role of hardpan formation on the reactivity of sulfidic mine tailings: A case study at Joutel mine (Québec) // *Science of the Total Environment*. 2019. V. 654. P. 118–128. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.066
- Gutiérrez M., Qiu X., Collette Z. J., Lurvey Z. T.** Metal Content of Stream Sediments as a Tool to Assess Remediation in an Area Recovering from Historic Mining Contamination // *Minerals*. 2020. V. 10 (247). 12 p. DOI:10.3390/min10030247
- Hani A.Q., Begday I.V., Katorgin I.Y., Shkarlet K.Y., Kharin K.V., Bluzhina A.S., Likhovid A.A.** Assessment of Metals Pollution from Tailing Sites in the North Caucasus Region, Russia // *Mine Water and the Environment*. 2018. V 37 (4). P. 815–824. DOI: 10.1007/s10230-018-0545-x
- Jelenová H., Majzlan J., Amoako F.J., Drahotá 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
- Khoeurn K., Sasaki A., Tomiyama S., Igarashi T.** Distribution of Zinc, Copper, and Iron in the Tailings Dam of an Abandoned Mine in Shimokawa, Hokkaido, Japan // *Mine water and the environment*. 2019. V. 38 (1). P. 119–129. DOI: 10.1007/s10230-018-0566-5
- Lu J., Lu H., Lei K., Wang W., Guan Y.** Trace metal element pollution of soil and water resources caused by small-scale metallic ore mining activities: a case study from a sphalerite mine in North China // *Environmental science and pollution research*. 2019. V. 26 (24). P. 24630–24644. DOI: 10.1007/s11356-019-05703-z
- Montes-Avila I., Espinosa-Serrano E., Castro-Larragoitia J., Lázaro I., Cardona A.** 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
- Rzyski P., Klimaszek P., Marszelewski W., Borowiak D., Mleczek M., Nowiński K., Pius B., Niedzielski P., Poniedziałek B.** The chemistry and toxicity of discharge waters from copper mine tailing impoundment in the valley of the Apuseni Mountains in Romania // *Environmental science and pollution research*. 2017. V. 24 (26). P. 21445–21458. DOI: 10.1007/s11356-017-9782-y
- Saljnikov E., Mrvic V., Čakmak D., Jaramaz D., Perović V., Antić -Mladenović S., Pavlović P.** Pollution indices and sources appointment of heavy metal pollution of agricultural soils near the thermal power plant // *Environmental geochemistry and health*. 2019. V. 41 (5). P. 2265–2279. DOI: 10.1007/s10653-019-00281-y
- Shahhosseini M., Ardejani F.D., Amini M., Ebrahimi L.** The spatial assessment of acid mine drainage potential within a low-grade ore dump: the role of preferential flow paths // *Environmental earth sciences*. 2020. V. 79 (3,28). 25 p. DOI: 10.1007/s12665-019-8782-2

**Авторы:**

**Абрамов Баир Намжилович**, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия.

E-mail: b-abramov@mail.ru

**Еремин Олег Вячеславович**, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, лаборатория геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия.

E-mail: yeroleg@yandex.ru

**Филенко Роман Андреевич**, научный сотрудник, лаборатория геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия.

E-mail: filrom@yandex.ru

**Цыренов Тимур Гармажапович**, аспирант 2-го года обучения, младший научный сотрудник, лаборатория геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия.

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

*Geosphere Research*, 2020, 2, 64–75. DOI: 10.17223/25421379/15/5

**B.N. Abramov, O.V. Eremin, R.A. Filenko, T.G. Tsyrenov**

*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences*

#### ASSESSMENT OF POTENTIAL ENVIRONMENTAL HAZARDS OF NATURAL AND MAN-MADE COMPLEXES OF ORE DEPOSITS (EASTERN TRANSBAIKALIA, RUSSIA)

The analysis of chemical elements distribution in the main components of natural and technological complexes of ore deposits of Eastern Transbaikalia, including their concentrations in productive ore associations and tailing dumps technozems, was performed.

As technogenic objects in the current research the territories changed as a result of mining and processing plants activity at the worked out and operating deposits are considered. Potential toxicity of tailing dumps technozems of different types of deposits was calculated. The actual material was obtained during the research on the basic projects of the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of SB RAS from 2000 to 2018. In addition, published data and materials from the territorial geological funds (Chita) were used. X-ray fluorescent method was used to determine concentrations of chemical elements in the analytical laboratories of the Geological Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Ulan-Ude), ICP-MS CJSC "SGS Vostok Limited" (Chita). Among toxic elements of the first grade, increased arsenic concentrations pose a serious hazard. Thus, As concentrations in technozems of Blagodatsky polymetallic deposit are 9078 ppm, Akatuevsky polymetallic deposit – 8 759 ppm, Lubavinsky gold deposit – 1 860 ppm. Comparative analysis of concentrations of toxic elements in technozems of tailing dumps with respect to their content in ores in different types of deposits has significant differences. Concentrations of toxic elements in the tailings dumps of gold and molybdenum deposits with respect to their content in the ores are mainly 20-70%, polymetallic locations 0-10%, in rare metal deposits exceeds 100%. These differences are explained by the peculiarities of the mineral composition of ores and technologies of ore processing in mining and processing plants. It has been revealed that polymetallic and tin polymetallic deposits pose the greatest ecological hazard to the natural environment. So, calculation of toxicity of technozems has shown, that among ore deposits of Eastern Transbaikalia, the most ecological danger is characterized by tailing dumps of Blagodatsky (GER = 74441) and Akatuevsky (GER = 61803) polymetallic deposits. Among the reviewed deposits, the least environmental hazard is represented by rare metal and tungsten tailings dumps. Thus, toxicity of technozems of Orlovsky deposit is (GER = 362), Malo-Kulinsky deposit (GER = 388).

**Keywords:** types of deposits, tailings, technozems, toxic elements, environmental hazard, Eastern Transbaikalia.

#### References

- Abdrakhmanov R.F., Akhmetov R.M. Hydrogeochemistry at mining districts // *Geochemistry International*. 2016. V. 54. № 9. pp. 795–806. DOI: 10.1134/S0016702916080024
- Abramov B.N. *Kontsentratsii tyazhelykh metallov v tekhnogennykh landshaftakh Akatuevskogo polimetallicheskogo mestorozhdeniya (Vostochnoe Zabaykal'e)* [The concentrations of heavy metals in the Akatuevskoye polymetallic deposit technogenic landscapes (Eastern Transbaikalia)] // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta: Geografiya. Geoekologiya*. 2018. № 4. pp. 67–71. In Russian.
- Abramov B.N., Tsyrenov T.G. *Otsenka ekologicheskoy opasnosti na okruzhayushchuyu sredu khvostokhranilishch nekotorykh sulfidnykh mestorozhdeniy Vostochnogo Zabaykal'ya* [Environmental hazard assessment on the environment of tailings of some sulfide deposits of Eastern Transbaikalia] // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2019. № 5. pp. 35–41. DOI: 10.18411/1681-7494-2019-5-35-41. In Russian.
- Abramov B.N., Epova E.S., Manzyrev D.V. Geoecological problems of mining gold ore deposits in Eastern Transbaikalia // *Geography and natural resources*. 2019. № 2. pp. 110–113. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-2(103-111). In Russian.
- Vinokurov S.F., Gurbanov A.G., Bogatkov O.A., Karamurzov B.S., Gazeev V.M., Leksin A.B., Shevchenko A.V., Dolov S.M., Dudarov Z.I. Contents, seasonal variations, and forms of migration of major and minor elements in surface waters in the area of the Tyrnauz tungsten–molybdenum combine (TTMC) and adjacent areas (Kabardino-Balkarian Republic, Russian Federation) and actions for recovery of the ecological environment // *Doklady earth sciences*. 2016. V. 467. № 4. pp. 436–467. DOI: 10.1134/S1028334X16040073
- Vitkovskiy Yu.A., Mikhaylova L.A., Bondarevich E.A., Solodukhina M.A., Epova E.S., Eremin O.V., Alekseeva O.G., Burlaka N.M., Lapa S.E., Baranovskaya N.V., Ageeva E.V. *Vliyanie antropogennykh geokhicheskikh faktorov sredi obitaniya na elementnyy status detey p. Khapcheranga (Vostochnoe Zabaykal'e)* [Hygienic characteristics of geochemical status influence on elemental status of child population of Sherlovaya Gora village (Eastern Transbaikalia)] // *Zabaykal'skiy meditsinskiy vestnik*. 2018. №2. pp 14–23. In Russian.
- Voytkovich G.V., Miroshnikov A.E., Povarennykh A.S., Prokhorov V.G. *Kratkiy spravochnik po geokhimmii* [Geochemistry Quick Guide]. Moscow: «Nedra», 1977. 184 p. In Russian.
- Goleva R.V., Ivanov V.V., Kupriyanova I.I., Marinov B.N., Novikova M.I., Shpanov E.P., Shuriga T.N. *Ekologicheskaya otsenka potencial'noy toksichnosti rudnykh mestorozhdeniy (metodicheskie rekomendatsii)* [Environmental assessment of potential toxicity of ore deposits (methodological recommendations)]. Moscow: «RITSVIMS», 2001. 53 p. In Russian.
- Eremin O.V., Abramov B.N. *Raspreделение lantanoidov i ittriya v porodakh i kar'ernykh vodakh Sherlovogorskogo olovo-polimetallicheskogo mestorozhdeniya (Vostochnoe Zabaykal'e)* [The distribution of lanthanides and yttrium in the rocks and quarry

waters of Sherlovogorskoe tin-polymetallic deposit (Eastern Transbaikalia)] // *Voda: khimiya i ekologiya*. 2016. № 1(91). pp. 18–23. In Russian.

Eremin O.V., Epova E.S., Yurgenson G.A., Smirnova O.K. Prognosis of Geoecological Consequences of Development of Deposits of the Bom-Gorkhon Tungsten Deposit (Transbaikalia) // *Chemistry for sustainable development*. 2014. V. 22. № 2. pp. 123–129. In Russian.

Mikhailenko V.N. *Problema tekhnogennykh otkhodov gornogo proizvodstva v Rossii* // [The problem of technogenic wastes of mining production in Russia] // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2006. № 2. pp. 121–126. In Russian.

Mikhailutina S.I. *Kompleksnaya ekologo-geokhimicheskaya otsenka zagryazneniya tyazhelymi metallami komponentov pri-rodnoy sredy gornorudnykh poseleniy Vostochnogo Zabaykal'ya: avtoreferat dissertatsii* [Complex ecological and geochemical assessment of heavy metal pollution of environmental components of mining settlements in Eastern Transbaikalia: dissertation abstract]. Irkutsk, 2007. 21 p. In Russian.

Myazin V.P., Mikhailutina S.I. *Kompleksnaya otsenka tekhnogennoy zagryazneniya pochv i produktov pitaniya tyazhelymi metallami pri razmeshchenii khvostokhranilishch v Vostochnom Zabaykal'e* [Complex assessment of technogenic pollution of soils and foodstuffs with heavy metals at the location of tailing dumps in Eastern Transbaikalia] // *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2006. № 9. pp. 164–170. In Russian.

*Predel'no dopustimye 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 Rossiyskoy Federatsii)*. [Maximum Permissible Concentrations (MPC) of chemical substances in soil are further standards developed in accordance with the Federal Law of 30.03.1999 N 52-FZ "On Sanitary and Epidemiological Well-being of Population" (Collection of Legislation of the Russian Federation)]. URL: <http://www.dioxin.ru/doc/gn2.1.7.2041-06.htm> (date of address: 05.03.2020). In Russian.

Ptitsyn A. B. *Problemy osvoeniya tekhnogennykh mestorozhdeniy Zabaykal'ya* [Problems of technogenic deposits development in Transbaikalia] // *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri*. 2014. № S3-2. pp. 128–130. In Russian.

*SanPiN № 2.1.7.1287-03 «Sanitarno-Epidemiologicheskie trebovaniya k kachestvu pochvy»* [SanPiN No. 2.1.7.1287-03 "Sanitary and epidemiological requirements for soil quality" ]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901859456> (date of address: 26.02.2020). In Russian.

Kharitonov Yu.F., Vasiliev D.A. et al. *Ekologo-ekonomicheskaya otsenka gornopromyshlennogo kompleksa Chitinskoy oblasti* [Ecological and economic assessment of the mining complex of Chita region] // *Resursy Zabaykal'ya*. Spets.vyp. 2002. pp. 42–47. In Russian.

Epova E. S., Solodukhina M. A., Eremin O. V., Mikhailova L. A., Alekseeva O. G., Burlaka N. M., Lapa S. E. *Monitoring sodержaniya mysh'yaka, svintsya, kadmiya, tsinka i medi v komponentakh okruzhayushchey sredy naselennogo punkta Sherlovaya Gora (Vostochnoe Zabaykal'e)* [Monitoring of arsenic, lead, cadmium, zinc and copper content in environmental components of Sherlovaya Gora settlement (Eastern Transbaikalia)] // *Gigiena i sanitariya*. 2020. № 99(2). pp. 210–216. In Russian.

Epova E.S., Yurgenson G.A., Eremin O.V. Experimental simulation of processes of ore leaching from Lyubov deposit (Transbaikalian region) // *Doklady earth sciences*. 2019. V. 486. № 2. pp. 647–650. DOI: 10.1134/S10283334X19060023

Yurgenson G. A. *Geologicheskie issledovaniya i gorno-promyshlennyy kompleks Zabaykal'ya: Istoriya, sovremennoe sostoyanie, problemy, perspektivy razvitiya. K 300-letiyu osnovaniya Prikaza rudokopnykh del* [Geological researches and mining industrial complex of Transbaikalia: History, current state, problems, prospects of development. To the 300th anniversary of the foundation of the Order of Mining]. Novosibirsk: «Nauka», 1999. 574 p. In Russian.

Ahn Y., Yun H., Pandi K., Park S., Ji M., Choi J. Heavy metal speciation with prediction model for heavy metal mobility and risk assessment in mine-affected soils // *Environmental science and pollution research international*. 2020. V. 27(3). pp. 3213–3223. DOI: 10.1007/s11356-019-06922-0

Daniell A., Malo D.S., Van Deventer P.W. Monitoring the pollution effects from a gold tailing storage facility on adjacent land through Landscape Function Analysis // *Environmental earth sciences*. 2019. V. 78(3, 82). 14 p. DOI: 10.1007/s12665-019-8095-5.

Dold B. Evolution of Acid Mine Drainage Formation in Sulphidic Mine Tailings // *Minerals*. 2014. V. 4(3). pp. 621–641. DOI: 10.3390/min4030621

Elghali A., Benzaazoua M., Bussière B., Kennedy C., Parwani R., Graham S. The role of hardpan formation on the reactivity of sulfidic mine tailings: A case study at Joutel mine (Québec) // *Science of the Total Environment*. 2019. V. 654. pp. 118–128. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.066

Gutiérrez M., Qiu X., Collette Z. J., Lurvey Z. T. Metal Content of Stream Sediments as a Tool to Assess Remediation in an Area Recovering from Historic Mining Contamination // *Minerals*. 2020. V. 10(247). 12 p. DOI:10.3390/min10030247

Hani A.Q., Begday I.V., Katorgin I.Y., Shkarlet K.Y., Kharin K.V., Bluzhina A.S., Likhovid A.A. Assessment of Metals Pollution from Tailing Sites in the North Caucasus Region, Russia // *Mine Water and the Environment*. 2018. V 37(4). pp. 815–824. DOI: 10.1007/s10230-018-0545-x

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. pp. 247–255. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2018.08.029

Khoern K., Sasaki A., Tomiyama S., Igarashi T. Distribution of Zinc, Copper, and Iron in the Tailings Dam of an Abandoned Mine in Shimokawa, Hokkaido, Japan // *Mine water and the environment*. 2019. V. 38 (1). pp. 119–129. DOI: 10.1007/s10230-018-0566-5

Lu J., Lu H., Lei K., Wang W., Guan Y. Trace metal element pollution of soil and water resources caused by small-scale metallic ore mining activities: a case study from a sphalerite mine in North China // *Environmental science and pollution research*. 2019. V. 26(24). pp. 24630–24644. DOI: 10.1007/s11356-019-05703-z

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

Rzyski P., Klimaszuk P., Marszelewski W., Borowiak D., Mleczeek M., Nowiński K., Pius B., Niedzielski P., Poniedziałek B. The chemistry and toxicity of discharge waters from copper mine tailing impoundment in the valley of the Apuseni Mountains in Romania // *Environmental science and pollution research*. 2017. V. 24(26). pp. 21445–21458. DOI: 10.1007/s11356-017-9782-y

Saljnikov E., Mrvic V., Čakmak D., Jaramaz D., Perović V., Antić-Mladenović S., Pavlović P. Pollution indices and sources appointment of heavy metal pollution of agricultural soils near the thermal power plant // *Environmental geochemistry and health*. 2019. V. 41 (5). pp. 2265–2279. DOI: 10.1007/s10653-019-00281-y

Shahhosseini M., Ardejani F.D., Amini M., Ebrahimi L. The spatial assessment of acid mine drainage potential within a low-grade ore dump: the role of preferential flow paths // *Environmental earth sciences*. 2020. V. 79 (3, 28). 25 p. DOI: 10.1007/s12665-019-8782-2

**Authors:**

**Abramov Bair N.**, Dr Sci. (Geol.-Miner), Leading Researcher, Laboratory of Geochemistry and Oreogenesis, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Chita, Russia.

E-mail: b-abramov@mail.ru

**Eremin Oleg V.**, Cand. Sci. (Geol.-Miner), Researcher, Laboratory of Geochemistry and Oreogenesis, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Chita, Russia.

E-mail: yeroleg@yandex.ru

**Filenko Roman A.**, Researcher, Laboratory of Geochemistry and Oreogenesis, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Chita, Russia.

E-mail: filrom@yandex.ru

**Tsyrenov Timur G.**, postgraduate student 2-year, Junior Researcher, Laboratory of Geochemistry and Oreogenesis, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences. Chita, Russia.

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