

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ХВОСТОХРАНИЛИЩ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ

Б.Н. Абрамов

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия,
e-mail: b_abramov@mail.ru

Аннотация: В Забайкальском крае за более чем трехсотлетний период отработки рудных месторождений накоплены огромные объемы техногенных образований, оказывающие негативное влияние на окружающую среду. Основной задачей исследования является расчет потенциальной опасности хвостохранилищ золоторудных, молибденовых, полиметаллических, оловополиметаллических, вольфрамовых и редкометалльных месторождений. Расчет потенциальной опасности проведен по методике Всероссийского института минерального сырья с учетом концентраций токсичных элементов в техноземах хвостохранилищ, кларков, концентраций элементов в техноземах и их литотоксичности. Элементный состав проб определен с использованием рентгенофлуоресцентного метода в аналитических лабораториях Геологического института Сибирского отделения Российской Академии Наук (г. Улан-Удэ) и ISP-MS метода в закрытом акционерном обществе «SGS Vostok Limited» (г. Чита). При расчете потенциальной токсичности месторождений использовались литотоксичность элементов, суммы концентраций токсичных элементов. В результате исследований выявлено, что наибольшую потенциальную опасность для окружающей среды представляют хвостохранилища полиметаллических месторождений, наименьшей экологической опасностью характеризуются хвостохранилища редкометалльных месторождений. В техноземах хвостохранилищ среди токсичных элементов первого класса наиболее высокими концентрациями характеризуется мышьяк. Превышение содержания мышьяка в техноземах хвостохранилищ полиметаллических месторождениях относительно среднего содержания мышьяка в земной коре составляет 152–5340 раз.

Ключевые слова: рудные месторождения Забайкалья, хвостохранилища, токсичные элементы, потенциальная опасность токсичности.

Для цитирования: Абрамов Б. Н. Оценка токсичности хвостохранилищ рудных месторождений Забайкальского края // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 11. – С. 136–145. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_11_0_136.

Toxicity assessment of mine tailings ponds in Transbaikalia

B.N. Abramov

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology,
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Chita, Russia, e-mail: b_abramov@mail.ru

Abstract: Ore mining operations for more than three hundred years in Transbaikalia have generated huge waste which has an adverse effect on the environment. The goal of this research is

to calculate the potential hazard of tailings ponds in gold, molybdenum, complex ore, tin-complex ore, tungsten and rare metal ore mining. The potential hazard calculations use the procedure developed at the All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources with regard to concentrations of toxic elements in manmade soil of tailings ponds, crystal abundances, concentrations and lithotoxicity of elements in manmade soil. The composition of elements in the test samples is determined by the X-ray fluorescent analysis at the Geological Institute, SB RAS in Ulan-Ude and by the ISP-MS method at laboratories of SGS Vostok Limited in Chita. The potential hazard assessment used the data on lithotoxicity of elements and on summed concentrations of toxic elements. The research shows that the highest potential environmental hazard arises from tailings ponds in complex ore mining, while the tailings ponds of rare metal ore mining is the least hazardous. Among the first-class toxicity elements in manmade soil of the tailings ponds, arsenic features the highest concentrations. The content of arsenic in manmade soil of complex ore tailings ponds exceeds the average arsenic content of the Earth's crust by 152–5340 times.

Key words: Transbaikalia ore deposits, tailings ponds, toxic elements, potential toxic hazard.

For citation: Abramov B. N. Toxicity assessment of mine tailings ponds in Transbaikalia. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(11):136-145. [In Russ]. DOI:10.25018/0236_1493_2021_11_0_136.

Введение

Забайкальский край относится к числу старейших горнорудных территорий России. История отработки рудных месторождений в Восточном Забайкалье начинается с XVII в. В Забайкалье были найдены и обрабатывались первые российские месторождения свинца, цинка, серебра. Восточное Забайкалье уникально по разнообразию полезных ископаемых. В Забайкальском крае развиты многочисленные месторождения золота, молибдена, олова, полиметаллов, флюорита, урана, меди, редких металлов, угля. За более чем 300-летний период отработки месторождений площадь, занятая под техногенные образования, составляет около 4000 га, из них 1285,1 га занято хвостохранилищами [1]. Техногенные образования отработанных и обрабатываемых месторождений оказывают негативное влияние на окружающую среду. Данной тематике посвящены работы многих исследователей [1 – 15].

К числу негативных факторов, влияющих на окружающую среду при отра-

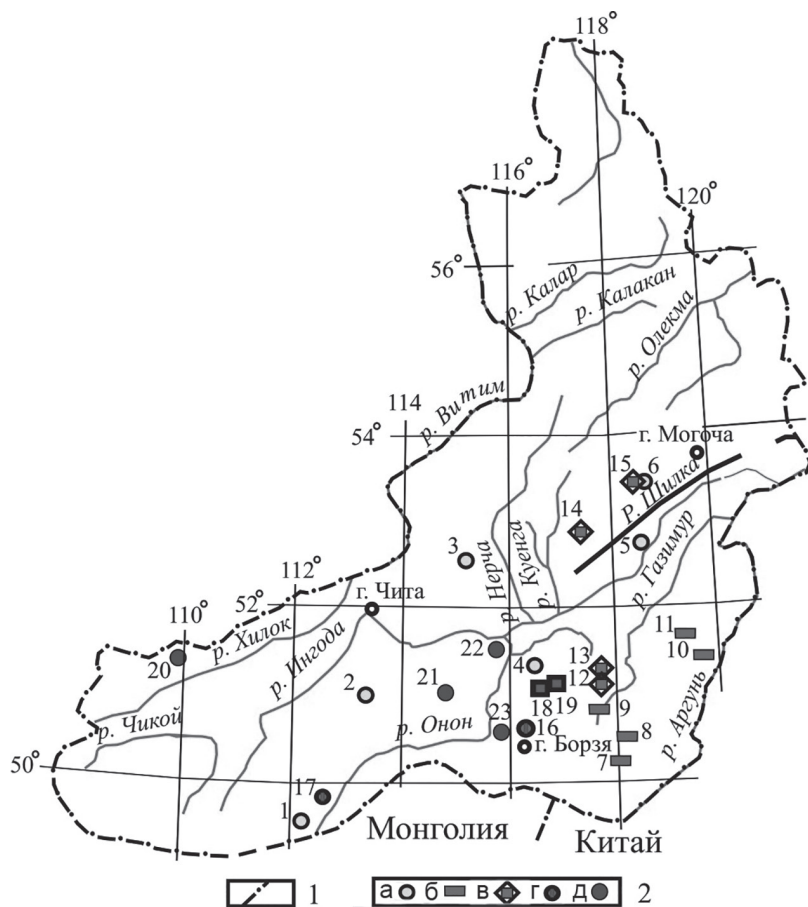
ботке рудных месторождений, относятся: изменение поверхности природных ландшафтов, активизация экзогенных геологических процессов, загрязнение почв, изменение режима поверхностных и подземных вод.

Рельеф Забайкальского края преимущественно гористый, средняя высота над уровнем моря составляет около 700 м. Равнинные формы рельефа занимают подчиненное значение и приурочены, в основном, к межгорным понижениям. Гористость сказывается при отработке месторождений. Терриконы, хвостохранилища легко подвержены разрушениям и смыву водными потоками. Ветровая и водная эрозия способствуют загрязнению окружающей среды. Горнодобывающие предприятия загрязняют токсичными металлами атмосферный воздух, подземные и поверхностные воды, почвенно-растительный покров, отчуждают хозяйственно-ценные территории. Техногенное изменение ландшафтов четко прослеживается в окрестностях рудников. Часто в ближайших окраинах населенных пунктов (г. Балей,

Шерловая Гора и др.) развиты терриконы, карьерные водоемы, хвостохранилища. Длительное воздействие неблагоприятных экологических факторов приводит к развитию заболеваний, увеличению смертности населения.

Наибольшее негативное влияние на окружающую среду оказывают хвосто-

хранилища горно-обогатительных комбинатов, как правило, расположенные вблизи населенных пунктов. При изучении минерального состава хвостохранилищ выделяются несколько стадий минералообразования: сульфиды – сульфаты – карбонаты (окислы). Наибольшую опасность для окружающей среды



- Золоторудные месторождения: 1 – Любавинское, 2 – Илинское, 3 – Дарасунское, 4 – Балейское, 5 – Карийское, 6 – Александровское (а)
- Полиметаллические месторождения: 7 – Кличкинское, 8 – Нойон-Тологойское, 9 – Акатуевское, 10 – Благодатское, 11 – Ново-Широкинское (б)
- Молибденовые месторождения: 12 – Бугдаинское, 13 – Шахтаминское, 14 – Жирекенское, 15 – Давендинское (в)
- Оловополиметаллические месторождения: 16 – Шерлогогорское, 17 – Хапчерангинское (г)
- Вольфрамовые месторождения: 18 – Букукинское, 19 – Антоновогорское
- Редкометалльные месторождения: 20 – Бом-Горхонское, 21 – Орловское, 22 – Завитинское, 23 – Мало-Кулиндинское (д)

Схема размещения рудных месторождений Забайкальского края

Location of ore deposits in Transbaikalia

представляют сульфаты, обладающие повышенной растворимостью.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются хвостохранилища золоторудных, молибденовых, полиметаллических, оловополиметаллических, вольфрамовых и редкометалльных месторождений Забайкальского края (рисунок).

Данные по концентрациям химических элементов в техноземах хвостохранилищ получены при проведении исследований по базовым проектам Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН. 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), ISP-MS ЗАО «SGS Vostok Limited» (г. Чита).

Результаты и обсуждение

Концентрации токсичных элементов в техноземах хвостохранилищ различных типов рудных месторождений Забайкальского края существенно отличаются (таблица). По уровню токсичности выделяются несколько классов химических элементов. Согласно ГОСТ 17.4.1.02-83 [16] 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. Коллективом Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья (г. Москва) предложен способ оценки потенциальной опасности рудных месторождений с учетом кларков концентраций элементов, концентрациям токсиканта в рудном месторож-

дении. Оценка потенциальной экологической опасности месторождений производится на основе литотоксичности (Тл) элементов, которые сгруппированы по нескольким классам в зависимости от токсичности.

Потенциальная токсичность месторождений (ГЭр) рассчитывается по сумме концентраций токсичных элементов. Для оценки «потенциальной токсичности рудных месторождений» (ГЭр) использовалась формула, предложенная в работе [4]:

$$ГЭр = \sum_{i=1,n} Тл(i) * B(i),$$

где Тл(*i*) — коэффициент литотоксичности элемента *i* (см. таблицу); B(*i*) = X(*i*)/Q(*i*), где X(*i*) — концентрации и Q(*i*) — кларк земной коры по Виноградову [17] элемента *i*; *n* — количество рассматриваемых элементов.

Основной задачей исследования было установить особенности распределения токсичных химических элементов в техноземах хвостохранилищ различных типов рудных месторождений Восточного Забайкалья, расчет их потенциальной экологической опасности. Расчет потенциальной опасности рудных месторождений Восточного Забайкалья по методике ВИМС выявил, что наибольшую опасность для окружающей среды представляют хвостохранилища полиметаллических месторождений (см. таблицу).

Среди рассматриваемых месторождений наибольшую экологическую опасность для окружающей среды представляют техноземы Благодатского (ГЭр = 75 599) и Акатуевского (ГЭр = 61 803) хвостохранилищ. На порядок меньшими значениями экологической опасности характеризуются хвостохранилища золоторудных (ГЭр = 2380 — 9405), оловополиметаллических (ГЭр = 4724 — 7024), молибденовых (ГЭр = 924 — 6979), вольфрамовых (ГЭр = 1286 — 8238) место-

**Средние содержания химических элементов в технозомах хвостохранилищ
рудных месторождений Восточного Забайкалья, г/т**
**Average content of chemical elements in manmade soil of ore tailings ponds
in East Transbaikalia, g/t**

Элементы	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	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Золоторудные месторождения											
Балейское (n = 14) ГЭр = 9405											
x	793	23	44	13	47	10	4	159	-	-	
s	355	8	27	0	28	5	2	30	-	-	
χ/***	466	1,4	0,5	100	1	4	3,6	318	-	-	
Дарасунское (n = 6) ГЭр = 9869											
x	1506	139	212	-	321	4	3	43	-	-	
s	677	87	87	-	197	1	2	24	-	-	
χ/***	886	9	2,5	-	6,8	1,6	3,6	86	-	-	
Любавинское (n = 3) ГЭр = 6525											
x	1098	12	36	-	13	3	2	2	-	-	
s	1078	13	42	-	0	3	3	-	-	-	
χ/***	646	0,7	0,4	-	0,3	1	1,8	4	-	-	
Карийское (n = 4) ГЭр = 2287											
x	252	164	103	-	146	3	360	25	340	69	
s	170	91	39	-	66	1	314	26	519	19	
χ/***	148	10	1,2	-	3,1	1,2	327	50	0,5	0,2	
Ключевское (n = 7) ГЭр = 2590											
x	286	26	45	-	107	3	7	42	-	-	
s	59	4	9	-	30	1	2	3	-	-	
χ/***	168	1,6	0,5	-	2,3	1,2	6,4	94	-	-	
Илинское (n = 3) ГЭр = 5734											
x	946	18	30	-	13	5	1	7	-	-	
s	267	4	5	-	9	1	1	7	-	-	
χ/***	556	1,1	0,4	-	0,3	2	0,9	6,4	-	-	
Александровское (n = 7) ГЭр = 2380											
x	34	44	57	7	88	30	131	32	768	457	
s	18	35	27	0	107	0	300	6	180	229	
χ/***	20	2,8	0,7	54	1,9	12	119	64	1,2	1,3	

Полиметаллические месторождения										
Акатувеское (n = 26) ГЭр = 61803										
x	8759	3491	9311	560	2411	7	3	51	1482	586
s	4770	1881	6552	35	144	5	2	27	85	231
χ/***	5152	218	112	4308	1269	2,8	2,7	102	2,3	1,7
Благодатское (n = 27) ГЭр = 74596										
x	9078	7419	17008	77	174	85	1	322	108	114
s	5046	2739	8706	37	66	37	0,4	108	68	67
χ/***	5340	464	205	592	3,7	34	0,9	644	0,2	0,3
Ново-Широкинское (n = 9) ГЭр = 5607										
x	398	1045	1193	5	107	2	2,3	96	929	529
s	376	500	583	2	41	2	0,5	9	106	94
χ/***	221	65	14	38	2,3	0,8	2,1	192	1,4	1,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кличкинское (n = 12) ГЭр = 5224										
x	259	240	1389	21	15	27	4	47	733	263
s	225	175	1573	9	3	15	2	63	79	79
χ/***	152	15	16,7	162	0,3	11	3,6	94	1,1	0,8
Оловополиметаллические месторождения										
Шерловогорское (n = 17) ГЭр = 7024										
x	273	1646	1000	14	153	629	2	71	300	99
s	346	1152	1150	14	74	338	1	28	60	62
χ/***	160	103	12	108	3,2	252	1,8	142	0,5	0,3
Хапчерангинское (n = 17) ГЭр = 4724										
x	389	1215	3211	5	145	418	-	10	551	175
s	235	1283	3346	5	133	321	-	5	56	29
χ/***	229	76	39	38	3,1	167	-	20	0,8	0,5
Молибденовые месторождения										
Шахтаминское (n = 7) ГЭр = 6979										
x	114	2209	1243	3	737	9	679	65	719	208
s	109	3406	556	1	744	5	466	55	257	99
χ/***	67	138	15	23	15,7	3,6	617	130	1,1	0,5
Давендинское [Юргенсон] ГЭр = 927										
x	79	39	19	-	96	2	35	13	108	-
s	66	81	44	-	43	1	100	5	106	-
χ/***	46	2,4	0,2	-	2	0,8	31,8	26	0,2	-
Жирекенское (n = 11) ГЭр = 2007										
x	377	64	83	7	500	30	181	-	643	326
s	13	41	44	0	227	0	177	-	33	31
χ/***	222	4	1	53,8	10,6	12	165	-	1	1

Вольфрамовые месторождения										
Букуинское (n = 14) ГЭр = 8238										
x	337	1174	429	13	290	119	-	165	350	104
s	161	878	376	5	180	35	-	222	67	22
χ/***	196	73	5,2	100	6,2	47,6	-	330	0,5	0,3
Антоновогорское (n = 14) ГЭр = 1286										
x	137	108	47	-	332	70	20	7	115	25
s	136	77	20	-	266	30	18	5	40	11
χ/***	80,6	6,7	0,6	-	7	28	18,1	14	0,2	0,1
Бом-Горхонское (n = 3) ГЭр = 2984										
x	78	86	9008	16	270	109	68	-	524	24
s	16	30	558	13	0	42	61	-	58	26
χ/***	46	5,4	106	123	5,7	43,6	61,8	-	0,8	0,1
Редкометалльные месторождения										
Орловское (n = 25) ГЭр = 317										
x	20	43	108	0,4	9	37	3	2	45	36
s	13	21	86	0,2	3	14	2	3	28	36
χ/***	11,8	2,7	1,3	3	0,2	14,8	2,7	4	0,1	0,1
Завитинское (n = 11) ГЭр = 19885										
x	292	29	69	0,2	14	31	2	901	166	98
s	426	12	34	0,1	12	10	2	1621	166	54
χ/***	172	1,8	0,8	1,5	0,3	12,4	1,8	1802	0,3	0,3
Мало-Кулиндинское (n = 13) ГЭр = 392										
x	33	23	85	0,5	11	49	1	0,3	141	178
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
s	4	2	15	0	2	11	0,3	0,1	31	25
χ/***	1,2	0,2	1	3,8	0,2	19,6	0,9	0,6	0,2	0,5
Примечание: x — среднее арифметическое, s — стандартное отклонение, n — число анализов. — — нет данных. КТ * — классы токсичности [18]. Тл ** — литотоксичность элементов [4]. *** — кларк концентраций элементов в земной коре [17], ГЭр — «потенциальная токсичность месторождений» [4].										

рождений. Наименьшую экологическую опасность для окружающей среды представляют редкометалльные месторождения (ГЭр = 317 – 568).

Анализ распределения химических элементов в технозомах хвостохранилищ показывает, что среди токсичных элементов наибольшими концентрациями характеризуется мышьяк (As), превы-

шающий кларки земной коры в золоторудных месторождениях в 20 – 886 раз, в полиметаллических – в 152 – 5340 раз, в редкометалльных – в 1,2 – 172 раза.

Заключение

Таким образом, в Забайкальском крае среди рудных месторождений по методу расчета ВИМС наибольшую потен-

циальную опасность для окружающей среды представляют хвостохранилища полиметаллических месторождений, наименьшую — хвостохранилища редкометальных месторождений. Среди токсич-

ных элементов наибольшими концентрациями в технозомах характеризуется мышьяк, превышение над кларками в полиметаллических месторождениях составляет 152 — 5340 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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 — 67. DOI: 10.17223/25421379/15/5.

2. *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. DOI: 10.17308/geo.2018.4/2269.

3. *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. 110 — 113. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-2(103-111).

4. *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.

5. *Майорова Л. П., Черенцова А. А., Крупская Л. Т., Голубев Д. А., Колобанов К. А.* Оценка техногенного загрязнения воздушного бассейна при пылении хвостохранилищ // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 1. — С. 5 — 20. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-5-20.

6. *Плохов А. С., Харько П. А., Пашкевич М. А.* Исследования влияния хвостового хозяйства медноколчеданного месторождения на поверхностные воды // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 4. — С. 57 — 68. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-4-0-57.

7. *Уланов А. Ю., Бахмин В. И., Коробова О. С.* О совершенствовании системы обогащения с отходами недропользования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6. — С. 48 — 55. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-48-55.

8. *Харитонов Ю. Ф., Васильев Д. А. и др.* Эколого-экономическая оценка горнопромышленного комплекса Читинской области // Ресурсы Забайкалья. — 2002. — Специальный выпуск. — С. 42 — 47.

9. *Чечель Л. П.* Распределение редких щелочных элементов в водах горнорудных объектов Восточного Забайкалья // Геосферные исследования. — 2020. — № 4. — С. 98 — 107. DOI: 10.17223/25421379/17/8.

10. *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, vol. 100, pp. 8–21. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2018.11.002.

11. *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, vol. 27, no. 3, pp. 3213–3223. DOI: 10.1007/s11356-019-06922-0.

12. *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, vol. 79, no. 28. DOI: 10.1007/s12665-019-8782-2.

13. 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, vol. 10, no. 247. DOI: 10.3390/min10030247.

14. García-Lorenzo M. L., Crespo-Feo E., Esbrí J., Higuera P., Grau P., Crespo I., Sánchez-Donoso R. Assessment of potentially toxic elements in technosols by tailings derived from Pb-Zn-Ag mining activities at San Quintín (Ciudad Real, Spain): Some insights into the importance of integral studies to evaluate metal contamination pollution hazards // *Minerals*. 2019, vol. 9, no. 6. DOI: 10.3390/min9060346.

15. Gutiérrez M., Mickus K., Camacho L. M. Abandoned Pb-Zn mining wastes and their mobility as proxy to toxicity. A review // *Science of the Total Environment*. 2016, vol. 565, pp. 392–400. DOI: 10.1016/j.scitotenv. 2016.04.143.

16. ГОСТ 17.4.1.02-83. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. Дата введения 01.01.85.

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

18. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территории 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, <https://docs.cntd.ru/document/573536177?section = text> (дата обращения 20.04.2021). **ИТАБ**

REFERENCES

1. Abramov B. N., Eremin O. V., Filenko R. A., Tsyrenov T. G. Assessment of potential environmental hazards of natural and man-made complexes of ore deposits (Eastern Transbaikalia, Russia). *Geosfernye issledovaniya*. 2020, no. 2, pp. 64–67. [In Russ]. DOI: 10.17223/25421379/15/5.

2. Abramov B. N. The concentrations of heavy metals in the Akatuyevskoye polymetallic deposit technogenic landscapes (Eastern Transbaikalia). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta: Geografiya. Geoekologiya*. 2018, no. 4, pp. 67–71. [In Russ]. DOI: 10.17308/geo.2018.4/2269.

3. Abramov B. N., Epova E. S., Manzyrev D. V. Geocological problems of mining gold ore deposits in Eastern Transbaikalia. *Geografiya i prirodnye resursy*. 2019, no. 2, pp. 110–113. [In Russ]. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-2(103-111).

4. Goleva R. V., Ivanov V. V., Kupriyanov I. I., Marinov B. N., Novikov M. I., Shpaniv E. P., Shuriga T. N. *Ekologicheskaya otsenka potentsial'noy toksichnosti rudnykh mestorozhdeniy (metodicheskie rekomendatsii)* [Environmental assessment of potential toxicity of ore deposits (guidelines)], Moscow, RITsVIMS, 2001, 53 p.

5. Mayorova L. P., Cherentsova A. A., Krupskaya L. T., Golubev D. A., Kolobanov K. A. Assessment of manmade air pollution due to dusting at mine tailings storage facilities. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 1, pp. 5–20. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-5-20.

6. Plokhov A. S., Kharko P. A., Pashkevich M. A. Effect of tailings storage facility on surface water at copper-pyrite deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 4, pp. 57–68. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-4-0-57.

7. Ulanov A. Yu., Bahmin V. I., Korobova O. S. Improvement of subsoil use waste management. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6, pp. 48–55. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-48-55.

8. Kharitonov Yu. F., Vasilyev D. A. etc. Ecological and economic assessment of the mining complex of the Chita region. *Resursy Zabajkal'ya*. 2002. Special edition, pp. 42–47. [In Russ].

9. Chechel L. P. Distribution of rare alkaline elements in the waters of mining facilities in Eastern Transbaikalia. *Geosfernye issledovaniya*. 2020, no. 4, pp. 98–107. [In Russ]. DOI: 10.17223/25421379/17/8.

10. 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, vol. 100, pp. 8–21. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2018.11.002.

11. 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, vol. 27, no. 3, pp. 3213–3223. DOI: 10.1007/s11356-019-06922-0.

12. 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, vol. 79, no. 28. DOI: 10.1007/s12665-019-8782-2.

13. 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, vol. 10, no. 247. DOI: 10.3390/min10030247.

14. García-Lorenzo M. L., Crespo-Feo E., Esbrí J., Higuera P., Grau P., Crespo I., Sánchez-Donoso R. Assessment of potentially toxic elements in technosols by tailings derived from Pb-Zn-Ag mining activities at San Quintín (Ciudad Real, Spain): Some insights into the importance of integral studies to evaluate metal contamination pollution hazards. *Minerals*. 2019, vol. 9, no. 6. DOI: 10.3390/min9060346.

15. Gutiérrez M., Mickus K., Camacho L. M. Abandoned Pb-Zn mining wastes and their mobility as proxy to toxicity. A review. *Science of the Total Environment*. 2016, vol. 565, pp. 392–400. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.04.143.

16. *Okhrana prirody. Pochvy. Klassifikatsiya khimicheskikh veshchestv dlya kontrolya zagryazneniya GOST 17.4.1.02-83* [Nature protection. Soils. Classification of chemicals for pollution control. State Standard 17.4.1.02-83], 01.01.85. [In Russ].

17. Voytkovich G. V., Miroshnikov A. E., Povarennykh A. S., Prokhorov V. G. *Kratkiy spravochnik po geokhimii* [A brief reference book on geochemistry], Moscow, Nedra, 1977, 184 p.

18. *SanPiN 2.1.3684-21 Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k sodержaniyu territorii gorodskikh i sel'skikh poseleniy, k vodnym ob'ektam, pit'evoy vode i pit'evomu vodosnabzheniyu, atmosfernomu vozdukhу, pochvam, zhilym pomeshcheniyam, ekspluatatsii proizvodstvennykh, obshchestvennykh pomeshcheniy, organizatsii i provedeniyu sanitarno-protivoepidemicheskikh (profilakticheskikh) meropriyatiy* [SanPiN 2.1.3684-21 Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of urban and rural areas, water bodies, drinking water and population' drinking water supply, atmospheric air, soils, residential premises, operation of industrial, public premises, organization and implementation of sanitary and anti-epidemiological (preventive) measures], available at: <https://docs.cntd.ru/document/573536177?section = text> (accessed 20.04.2021). [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Абрамов Баир Намжилович — д-р геол.-минерал. наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: b_abramov@mail.ru, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

B.N. Abramov, Dr. Sci. (Geol. Mineral.), Leading Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Chita, 672014, Russia, e-mail: b_abramov@mail.ru.

Получена редакцией 02.06.2021; получена после рецензии 21.07.2021; принята к печати 10.10.2021.
Received by the editors 02.06.2021; received after the review 21.07.2021; accepted for printing 10.10.2021.