

УДК 504.1(571.55)
DOI: 10.18799/24131830/2024/7/4211
Шифр специальности ВАК: 25.00.01

Техногенные месторождения золота Забайкальского края

Б.Н. Абрамов✉

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Россия, г. Чита

✉b_abramov@mail.ru

Аннотация. **Актуальность** исследования обусловлена необходимостью расширения минерально-сырьевой базы Забайкальского края. **Цель:** изучение геохимического состава технозёмов хвостохранилищ золоторудных месторождений Забайкальского края, соответствие их, по содержанию золота, техногенным месторождениям, расчет превышения предельно-допустимых концентраций токсичных элементов в техноземах хвостохранилищ. **Объекты:** технозёмы хвостохранилищ золоторудных месторождений Забайкальского края. **Методы:** силикатный, рентгено-флуоресцентный, ICP-AES методы в аналитических лабораториях Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ) и ЗАО «SGS Vostok Limited» (г. Чита). **Результаты.** Установлено, что по содержанию золота ($Au > 0,4$ г/т) технозёмы хвостохранилищ золоторудных месторождений Забайкальского края в целом соответствуют техногенным месторождениям золота. Технозёмы хвостохранилищ золоторудных месторождений характеризуются следующими содержаниями золота: Любавинское – 1,79 г/т, Балейское – 1,20 г/т, Ключевское – 0,77 г/т, Александровское – 0,5 г/т, Карийское – 0,35 г/т. Среди хвостохранилищ золоторудных месторождений наибольшими объемами выделяются хвостохранилище Балейского месторождения – 5350 (тыс. м³) и Ключевского месторождения – 4860 (тыс. м³). Сравнительно небольшие объёмы составляют хвостохранилища Любавинского – 190 (тыс. м³) и Карийского – 143 (тыс. м³) месторождений. Определено, что по химическому составу технозёмы хвостохранилищ зависят от состава вмещающих пород, развитых в районах месторождений. Они соответствуют породам как основного, так и среднего составов. Отличительные особенности содержания элементов-примесей в техноземах хвостохранилищ обусловлены разными составами исходных руд золоторудных месторождений. Данные отличия отражаются в значениях превышения предельно допустимых концентраций относительно почв. Среди токсичных элементов максимальными превышениями предельно допустимых концентраций характеризуется мышьяк. Концентрации мышьяка в техноземах Любавинского месторождения превышают в 933 раза предельно допустимые концентрации почв, Илинского месторождения – в 473 раза, Балейского месторождения – в 397 раз.

Ключевые слова: хвостохранилища, технозёмы, золото, элементный состав, предельно допустимые концентрации, Забайкальский край

Для цитирования: Абрамов Б.Н. Техногенные месторождения золота Забайкальского края // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 7. – С. 105–110. DOI: 10.18799/24131830/2024/7/4211

UDC 504.1(571.55)
DOI: 10.18799/24131830/2024/7/4211

Technogenic gold deposits of the Trans-Baikal Territory

B.N. Abramov✉

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

✉b_abramov@mail.ru

Abstract. Relevance. The need to expand the mineral resource base of the Trans-Baikal Territory. **Aim.** To study the geochemical composition of technozems of tailings dumps of gold deposits of the Trans-Baikal Territory, their correspondence, in terms of gold content, to technogenic deposits, to calculate the exceeding the maximum permissible concentrations of toxic

elements in technozems of tailings dumps. **Objects.** Technozems of tailings dumps of gold deposits of the Trans-Baikal Territory. **Methods.** Silicate, X-ray fluorescence ISP-AES methods in analytical laboratories of the Geological Institute of the SB RAS (Ulan-Ude) and JSC "SGS Vostok Limited" (Chita). **Results.** It was found that in terms of gold content ($\text{Au} > 0.4 \text{ g/t}$), the technozems of the tailings of the gold deposits of the Trans-Baikal Territory, in general, correspond to technogenic gold deposits. Technozems of the Baleysky tailings dam deposits with insignificant gold contents: technozems of Darasunsky (0.36 g/t) and Kariysky (0.35 g/t) deposits, are characterized by the largest volumes and contents of gold (1.2 g/t). It is determined that the chemical composition of the technozems of the tailings depends on the composition of the host rocks developed in the areas of deposits. They correspond to the rocks of both basic and medium compositions. The distinctive features of the content of impurity elements in the technozems of tailings are due to the different compositions of the initial ores of gold deposits. These differences are reflected in the values of exceeding the maximum permissible concentrations relative to soils. Among the toxic elements, arsenic is characterized by maximum exceedances of the maximum permissible concentrations. In the technozems of the Lyubavinsky deposit, the excess of the maximum permissible concentrations of arsenic relative to the soil is 933 times, and the Baley deposit is 397 times.

Keywords: tailings dumps, technozems, gold, elemental composition, maximum permissible concentrations, Trans-Baikal Territory

For citation: Abramov B.N. Technogenic gold deposits of the Trans-Baikal Territory. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2024, vol. 335, no. 7, pp. 105–110. DOI: 10.18799/24131830/2024/7/4211

Введение

Забайкальский край относится к числу старейших горнодобывающих регионов России. Рудные месторождения начали отрабатываться с 1879 г. небольшими рудниками [1]. На территории Забайкальского края известно более 1000 рудопроявлений и месторождений золота. Из них к числу крупных по запасам относятся: Бaleyское, Дарасунское, Ключевское и Карийское. В Забайкальском крае сокращаются разведанные запасы золота. Хвостохранилища горно-обогатительных комбинатов золоторудных месторождений, содержащие ряд рудных элементов, в том числе золото, имеют важное практическое значение. К числу благоприятных факторов для обработки относится наличие их на дневной поверхности руд и отсутствие затрат на их измельчение. Установлено, что за длительный период эксплуатации золоторудных месторождений Восточного Забайкалья площадь земель, занятых под техногенные образования, превышает 4 тыс. га, из них 1285,1 га занято хвостохранилищами [2].

Методы исследования

Сведения по концентрациям химических элементов в рудах и в техноземах хвостохранилищ получены при проведении исследований по базовым проектам Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН с 2000 по 2020 гг. Кроме того, использованы опубликованные данные и сведения территориального геологического фонда по Забайкальскому краю (г. Чита). Для определения элементного состава в пробах использованы рентген-флуоресцентный метод в аналитических лабораториях Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ). При этом глубина отбора проб на анализы составляла 0–10 см. Вес пробы составлял 1,0 кг. Содержание золота определено ISP-MS ЗАО методом исследования «SGS Vostok Limited» (г. Чита).

Результаты и обсуждение

Большинство хвостохранилищ золоторудных месторождений Восточного Забайкалья сформированы в 1930–1950 гг. Всего в техногенных образованиях Забайкальского края содержится более 150 т золота [3]. Техногенные месторождения золота отрабатываются в США и Канаде [4]. За рубежом хвосты собственно золоторудных месторождений с содержанием золота от 0,5 до 1,5 г/т активно вовлекаются в повторную переработку. Экономический интерес отвалы хвосты начинают представлять при уровне содержания золота от 0,4 г/т [5, 6]. Запасы золота на отдельных хвостохранилищах ЮАР составляют десятки тонн [4]. Технозе́мы хвостохранилищ, несмотря на большие объемы, характеризуются относительно низким содержанием золота. Под технозе́мами понимаются искусственно созданные насыпные образования, сформированные при складировании отработанных материалов хвостов обогащения горно-обогатительных комбинатов (ГОК). В России к числу наиболее крупных относятся хвосты золото-извлекательной фабрики (ЗИФ) Олимпиадинского ГОКа. Запасы золота в них составляют первые тонны, при уровне содержания металла 1–2 г/т, редко более. В общей структуре ресурсов и запасов золота России на долю техногенных объектов приходится около 7–12 % золота [4]. По типам минерального сырья различают техногенные месторождения благородных металлов, цветных металлов, железных руд и других видов минерального сырья [7, 8]. В Забайкальском крае кроме техногенных месторождений золота существуют хвостохранилища полиметаллов, олова, молибдена, вольфрама изучение которых ждет своей очереди. В Восточном Забайкалье к числу наиболее крупных техногенных золотосодержащих объектов относятся отвалы техноземов ЗИФ Бaleyского месторождения. По результатам разведочного бурения масса

хвостов здесь оценена в 42 млн т, а запасы золота – в 37 т, что сопоставимо по запасам со средним золоторудным месторождением.

Геохимический состав хвостов обогащения ЗИФ золоторудных месторождений Забайкальского края отличаются по химическому составу, содержаниям элементов-примесей. Отличия обусловлены особенностями геологического строения месторождений, составом исходных руд. Так, химический состав техноземов хвостохранилищ Дарасунского месторождения соответствует породам основного состава, Балецкого месторождения – породам среднего состава (табл. 1).

В Забайкальском крае из рассматриваемых золоторудных месторождений наиболее крупным является Балецкое. По гранулометрическому составу отходы ЗИФ-1 Балецкого месторождения соответствуют илам мелкоалевритовым.

Таблица 1. Средний химический состав техноземов хвостохранилищ золоторудных месторождений Забайкальского края, %

Table 1. Average chemical composition of technozems of tailings dumps of gold deposits of Trans-Baikal Territory, %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅
Александровское/Alexandrovskoe (n=6)									
57,62	13,37	5,05	0,07	3,32	4,25	2,7	3,36	0,85	0,18
Ключевское/Klyuchevskoe (n=6)									
62,97	13,3	6,58	0,11	3,14	3,34	0,96	2,4	0,37	0,09
Дарасунское/Darasunskoe (n=9)									
48,45	12,67	11,87	0,23	2,66	5,47	7,54	2,04	1,50	0,67
Любавинское/Lyubavinskoe (n=3)									
67,25	17,87	3,9	0,11	0,6	1,89	2,65	1,76	3,97	0,11
Балецкое/Baleyskoe (n=14)									
66,30	12,52	3,52	0,42	2,83	2,83	0,025	3,15	–	–

Примечание: n – число анализов. «–» – нет данных.

Note: n is the number of analyses. «–» – no data available.

Количество сульфидов, среди которых преобладают пирит и марказит, в отложениях ЗИФ Балецкого месторождения составляет 1–1,5 %. Распределение золота в отложениях хвостохранилища неравномерное. По данным фондовых материалов содержание золота в техноземах ЗИФ колеблется от 0,48 до 2,60 г/т при среднем содержании 1,2 г/т (табл. 2). Золото сосредоточено преимущественно в мелких и тонких классах хвостов. По данным фондовых материалов более 90 % золота в хвостах ЗИФ-1 от его общего содержания находится в суммарном классе 0,21+0 мм. Максимальное частное содержание золота (1,4 г/т) отмечается в классе: 0,31+0,21 мм, минимальное (1,1 г/т) в классах 0,53+0,31 и 0,16+0,10 мм [9]. Нанодисперсные формы золота можно отрабатывать с использованием комбинированных физико-технических и физико-химических геотехнологий [10]

В районе Дарасунского месторождения вмещающие породы представлены преимущественно палеозойскими габброидами, Балецкого месторождения – гранодиоритами палеозойского ундинского комплекса. Среди техногенных месторождений золота Забайкальского края наибольшими средними содержаниями золота характеризуются техноземы ЗИФ-1 Балецкого месторождения (табл. 2).

Таблица 2. Средние содержания золота, г/т, в техноземах хвостохранилищ золоторудных месторождений Забайкальского края [9, 10]

Table 2. Average gold content, g/t, in technozems of tailings dumps of gold deposits of the Trans-Baikal Territory [9, 10]

Месторождение Deposit	Площадь хвостохранилищ, га Tailings dumps area, ha	Объем объекта тыс. м ³ /тыс. т Object volume thousand cubic metres/thousand tonnes	Среднее содержание Au, г/т Mean Au content, g/t
Балецкое Baleyskoe	56,2	5350/10436	1,2
Дарасунское Darasunskoe	80	1745/4710,2	0,36
Ключевское Klyuchevskoe	68	4860/11180	0,77
Александровское Aleksandrovskoe	21	1340/3485	0,5
Любавинское Lyubavinskoe	16	190/285	1,79
Карийское Kariyskoe	3,6	143/400	0,35

В последние годы установлено, что на содержание золота в хвостохранилищах влияют процессы перераспределения благородных металлов (Au и Ag) за счет взаимодействия вода–порода [11]. Состав отходов ЗИФ зависит от состава вмещающих пород и состава исходной руды. Отличия отражаются в содержаниях элементов-примесей техноземов золоторудных месторождений, а также в значениях превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) элементов относительно почв (табл. 3).

Техногенные образования отработанных и отрабатываемых месторождений оказывают негативное влияние на окружающую среду. Данной тематике посвящены работы многих исследователей [12–22]. Ранее по методике оценки токсичности рудных месторождений, предложенной Р.В. Голевой и др. [22], установлено, что среди техноземов золоторудных месторождений наибольшей экологической опасностью характеризуются хвостохранилища Любавинского и Балецкого месторождений [9]. Значительными превышениями ПДК токсичных элементов в техноземах относительно ПДК почв характеризуются также Дарасунское, Ключевское, Александровское и Карийское золоторудные месторождения (табл. 3).

Таблица 3. Средние содержания элементов-примесей в техноземах хвостохранилищ золоторудных месторождений Забайкальского края, г/т

Table 3. Average content of impurity elements in technozems of tailings dumps of gold deposits of the Trans-Baikal Territory, g/t

Элементы Elements	As	Pb	Zn	Cd	Cu	Sn	Mo	Sb	Ba	Sr
ПДК/МРС [9]	2,0	32,0	23,0	2,0	3,0	53	5,0	4,5	165	600
Балейское/Baleyskoe (n=14)										
x/s	793/355	23/8	44/27	13/-	35/20	10/5	4/2	159/30	440/41	193/37
x/ПДК/x/МРС	397	0,7	15	6,5	12	0,2	0,8	35	2,4	0,3
Дарасунское/Darasunskoe (n=14)										
x/s	318/193	56/27	110/20	-	121/54	10/-	31/21	21/7	687/25	327/18
x/ПДК/x/МРС	159	1,8	4,8	-	40	0,5	6,2	4,7	4,2	0,5
Любавинское/Lyubavinskoe (n=14)										
x/s	1865/122	44/11	91/19	-	30/9	-	23/9	9/1	599/120	159/33
x/ПДК/x/МРС	933	1,4	3,9	-	10	-	4,6	2	3,6	0,3
Карийское/Kariyskoe (n=14)										
x/s	237/91	135/66	47/20	-	146/66	30/7	15/4	68/77	-	-
x/ПДК/x/МРС	119	4	2	-	49	0,6	3	15	-	-
Александровское/Alexandrovskoe (n=14)										
x/s	17/5	15/4	45/4	-	38/13	-	21/2	15/4	911/56	596/10
x/ПДК/x/МРС	8,5	0,5	2,0	-	12,7	-	4,2	3,3	5,5	1
Ключевское/Klyuchevskoe (n=14)										
x/s	378/54	21/7	37/4	-	94/11	-	39/5	15/45	595/62	640/92
x/ПДК/x/МРС	189	0,6	1,6	-	31	-	7,8	3,3	3,6	1,1
Илинское/Ilinskoe (n=3)										
x/s	946/267	18/4	30/5	-	13/9	5/1	1/1	7/1	-	-
x/ПДК/x/МРС	473	0,6	1,3	-	4,3	0,1	0,2	1,5	-	-

Примечание: x – среднее арифметическое; s – стандартное отклонение; n – число анализов.

Note: x is the arithmetic mean, s is the standard deviation, n is the number of analyses.

В техноземах хвостохранилищ среди токсичных элементов максимальными превышениями ПДК характеризуется мышьяк. Так, в техноземах Любавинского месторождения превышение ПДК относительно почв составляет в 933 раза, Балейского месторождения – в 397 раз (табл. 2).

Таким образом, химический состав техноземов хвостохранилищ золоторудных месторождений Забайкальского края зависит от состава вмещающих пород районов золоторудных месторождений. Элементный состав хвостов рассматриваемых хвостохранилищ зависит от элементного состава исходных руд. Эти отличия выражаются в значениях превышения ПДК техноземов относительно ПДК почв. В техноземах хвостохранилищ отмечаются аномально высокие превышения ПДК As относительно ПДК As в почвах. Среди хвостохранилищ золоторудных месторождений Забайкалья наибольшими объемами хвостохранилищ и наиболее высокими содержаниями золота характеризуются хвостохранилища Балейского месторождения, со средними содержаниями золота 1,2 г/т. Оработка зарубежных хвостохранилищ ведется при содержаниях золота от 0,5 до 1,5 г/т. Все Забайкаль-

ские хвостохранилища, кроме хвостохранилища Карийского месторождения, соответствуют этим значениям.

Заключение

По содержаниям золота хвостохранилища Забайкальских золоторудных месторождений в целом соответствуют техногенным месторождениям золота ($Au > 0,4$ г/т). Определены следующие средние содержания золота в техноземах хвостохранилищ Забайкальского края: Любавинское – 1,79 г/т, Балейское – 1,20 г/т, Ключевское – 0,77 г/т, Александровское – 0,5 г/т, Карийское – 0,35 г/т. Среди хвостохранилищ золоторудных месторождений наибольшими объемами выделяются хвостохранилища Балейского месторождения – 5350 (тыс. м³). Золото сосредоточено преимущественно в мелких и тонких классах хвостов от –0,21 до +0 мм. Химический и элементный состав техноземов хвостохранилищ зависит от состава вмещающих пород и исходных руд. По содержаниям токсичных элементов в техноземах выделяется мышьяк. Кратные значения ПДК хвостохранилища Любавинского месторождения относительно ПДК почв достигает 933.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.

2. 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.
3. Харитонов Ю.Ф. Расширение сырьевой базы действующих золоторудных предприятий Забайкалья // Недропользование – XXI век. – 2006. – № 1. – С. 43–47.
4. Макаров В.А., Брагин В.И., Малыхин Е.В. Минералого-геохимические особенности хвостов обогащения золотых руд Олимпиадинского ГОКа и оценка возможности их повторной переработки // Цветные металлы и минералы: Сборник докладов IX Международного конгресса. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2017. – С. 834–842.
5. Harris S.L. Precious metals recovery from low-grade resources // Journal of Metals. – 1986. – Vol. 38. – № 6. – P. 29–30.
6. Wesser J.A. Gone but not forgotten // Mining Journal – 1987. – Vol. 301. – № 79-23. – P. 18–20.
7. Макаров А.Б., Хасанова Г.Г., Талалай А.Г. Техногенные месторождения: особенности исследований // Известия Уральского государственного горного университета. – 2019. – № 3 (55). – С. 58–62.
8. Рассказов И.Ю., Грехнев Н.И., Александрова Т.Н. Техногенные месторождения в отвалах горно-обогатительных комбинатов Дальневосточного региона // Тихоокеанская геология. – 2014. – Т. 33. – № 1. – С. 102–114.
9. Шумилова Л.В., Лесков А.С. Повышение эффективности выщелачивания золота из техногенных месторождений Забайкалья // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов. XIV Международная научно-практическая конференция: в 3-х ч. – Чита: Забайкальский государственный университет, 2014. – С. 220–226.
10. Секисов А.Г., Рубцов Ю.И., А.Ю. Лавров А.Ю., А.И. Трубочев А.И. Геотехнологии освоения месторождений природно-техногенного минерального сырья Восточного Забайкалья // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 3-2. – С. 133–142.
11. Хусаинова А.Ш., Калинин Ю.А., Гаськова Щ.Л., Бортникова С.Б. Типоморфная характеристика золота из хвостохранилищ колчеданно-полиметаллических месторождений Сибири // Георесурсы. – 2021. – Т. 23. – № 3. – С. 149–163.
12. Б.Н. Абрамов, О.В. Еремин, Р.А. Филенко, Т.Г. Цыренов Оценка потенциальной экологической опасности природно-техногенных комплексов рудных месторождений Восточного Забайкалья // Геосферные исследования. – 2020. – № 2. – С. 64–75.
13. Макаров А.Б., Талалай А.Г., Гуман О.М., Хасанова Г.Г. Техногенные месторождения и особенности их воздействия на природную окружающую среду // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2022. – № 3. – С. 120–129.
14. Абрамов Б.Н. Оценка токсичности хвостохранилищ рудных месторождений Забайкальского края // Горно-информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 11. – С. 136–145.
15. Абрамов Б.Н. Геоэкологическая характеристика природно-техногенных комплексов свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья // Вестник Воронежского университета. Серия геология. – 2022. – № 1. – С. 67–76.
16. Heavy metal speciation with prediction model for heavy metal mobility and risk assessment in mine-affected soils / Y. Ahn, H. Yun, K. Pandi, S. Park, M. Ji, J. Choi // Environmental science and pollution research international. – 2020. – Vol. 27. – № 3. – P. 3213–3223.
17. Distribution of zinc, copper, and iron in the tailings dam of an abandoned mine in Shimokawa, Hokkaido, Japan / K. Khoeurn, A. Sasaki, S. Tomiyama, T. Igarashi // Mine water and the environment. – 2019. – Vol. 38. – № 1. – P. 119–129.
18. The spatial assessment of acid mine drainage potential within a low-grade ore dump: the role of preferential flow paths / M. Shahhosseini, F.D. Ardejani, M. Amini, L. Ebrahimi // Environmental earth sciences. – 2020. – Vol. 79. – P. 28.
19. Metal content of stream sediments as a tool to assess remediation in an area recovering from historic mining contamination / M. Gutiérrez, X. Qiu, Z.J. Collette, Z.T. Lurvey // Minerals. – 2020. – Vol. 10 (3). – P. 247.
20. 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 / M.L. García-Lorenzo, E. Crespo-Feo, J. Esbrí, P. Higuera, P. Grau, I. Crespo, R. Sánchez-Donoso // Minerals. – 2019. – Vol. 9(6). – P. 346.
21. Pollution indices and sources appointment of heavy metal pollution of agricultural soils near the thermal power plant / E. Saljnikov, V. Mrvic, D. Čakmak, D. Jaramaz, V. Perović, S. Antić-Mladenović, P. Pavlović // Environmental geochemistry and health. – 2019. – Vol. 41. – № 5. – P. 2265–2279.
22. 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.

Информация об авторах

Баир Намжилевич Абрамов, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии и рудогенеза Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Россия, 672014, г. Чита, ул. Недорезова, 16а. b_abramov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8905-1677>

Поступила: 28.04.2023

Прошла рецензирование: 25.09.2023

Принята к публикации: 23.05.2024

REFERENCES

1. Yurgenson G.A. *Geological research and mining and industrial complex of Transbaikalia: history, current state, problems, development prospects. To the 300th anniversary of the foundation of the Order of Mining Affairs*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1999. 574 p. (In Russ.)

2. Abramov B.N., Epova E.S., Manzyrev D.V. Geocological problems of mining gold ore deposits in Eastern Transbaikalia. *Geography and Natural Resources*, 2019, no. 2, pp. 103–111. (In Russ.)
3. Kharitonov Yu.F. Expansion of the raw material base of existing gold mining enterprises in Transbaikalia. *Subsoil use – XXI century*, 2016, no. 1, pp. 43–47. (In Russ.)
4. Makarov V.A., Bragin V.I., Malykhin E.V. Mineralogical-geochemical features and recycling assessment of gold ore processing tailings at Olimpiadinskii mining and processing plant. *Non-Ferrous Metals & Minerals. Book of Papers of the Ninth International Congress*. Krasnoyarsk, Science and Innovation Center Publ., 2017. pp. 834–842. (In Russ.)
5. Harris S.L. Precious metals recovery from low-grade resources. *Journal of Metals*, 1986, vol. 38, no. 6, pp. 29–30.
6. Wesser J.A. Gone but not forgotten. *Mining Journal*, 1987, vol. 301, no. 79-23, pp. 18–20.
7. Makarov A.B., Khasanova G.G., Talalay A.G. Technogenic deposits: research features. *News of the Ural State Mining University*, 2019, no. 3 (55), pp. 58–62. (In Russ.)
8. Rasskazov I.Yu., Grekhnev N.I., Aleksandrova T.N. Anthropogenic deposits inside dumps of ore-dressing and processing enterprises of the Far East region. *Tikhookeanskaya geologiya*, 2014, vol. 33, no. 1, pp. 102–114. (In Russ.)
9. Shumilova L.V., Leskov A.S. Improving the efficiency of gold leaching from technogenic deposits in Transbaikalia. *Kulagin readings: technique and technologies of production processes. XIV International Scientific and Practical Conference*. Chita, Transbaikalian State University Publ., 2014. pp. 220–226. (In Russ.)
10. Sekisov A.G., Rubtsov Yu.I., Lavrov A.Yu., Trubachev A.I. Geotechnologies for natural mineral mining and manmade deposit treatment in Eastern Transbaikalia. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 2021, no. 3-2, pp. 133–142. (In Russ.)
11. Khusainova A.Sh., Kalinin Yu.A., Gaskova O.L., Bortnikova S.B. Typomorphic characteristic of gold from tailings of pyrite-polymetallic deposits of Siberian. *Georesources*, 2021, vol. 23, no. 3, pp. 149–163. (In Russ.)
12. 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). *Geosphere Research*, 2020, no. 2, pp. 64–67. (In Russ.)
13. Makarov A.B., Talalay A.G., Guman O.M., Khasanova G.G. Anthropogenic deposits and their impact on the natural environment. *Minerals and Mining Engineering*, 2022, no. 1, pp. 120–129. (In Russ.)
14. Abramov B.N. Toxicity assessment of mine tailings ponds in Transbaikalia. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 2021, no. 11, pp. 136–145. (In Russ.)
15. Abramov B.N. Geocological characteristics of natural-technogenic complexes of lead-zinc deposits in the Eastern Transbaikalia. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2022, no. 1, pp. 67–76. (In Russ.)
16. 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.
17. 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, vol. 38, no. 1, pp. 119–129.
18. 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, 28.
19. 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 (3), 247.
20. García-Lorenzo M.L., Crespo-Feo E., Esbrí J., Higuera P., Grau P., Crespo I., Sánchez-Donoso R. Assessment of potentially toxic elements in technogenic 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 (6), 346.
21. 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, vol. 41, no. 5, pp. 2265–2279.
22. Goleva R.V., Ivanov V.V., Kupriyanova I.I., Marinov B.N., Novikova M.I., Shpanov E.P., Shuriga T.N. *Environmental assessment of potential toxicity of ore deposits (methodological recommendations)*. Moscow, RICVIMS Publ., 2001. 53 p. (In Russ.)

Information about the authors

Bair N. Abramov, Dr. Sc., Leading Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 16a, Nedorezov street, Chita, 672014, Russian Federation. b_abramov@mail.ru

Received: 28.04.2023

Revised: 25.09.2023

Accepted: 23.05.2024