ОТХОДЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА КАК ИСТОЧНИКИ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ В ЗАБАЙКАЛЬСКОМ КРАЕ

Юргенсон Г.А.

*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия
yurgga@mail.ru*

MINING WASTE AS SOURCES OF RARE METALS IN THE TRANS-BAIKAL TERRITORY

Yurgenson G.A.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

Определено, что отходы обогащения руд олово-полиметаллических и редкометалльных месторождений Восточного Забайкалья представляют собою комплексные геотехногенные месторождения, содержащие литий, скандий, бериллий, индий, висмут, кадмий, тантал и ниобий, а также свинец, цинк, олово и вольфрам. Рациональная технология их извлечения позволит получить ценнейшее сырье и кардинально улучшить экологические проблемы горнопромышленных территорий.

Ключевые слова: хвостохранилище, редкие металлы, месторождение, содержания, запасы, Восточное Забайкалье.

It has been determined that ore dressing wastes from tin-base metal and rare-metal deposits of Eastern Transbaikalia are complex geotechnogenic deposits containing lithium, scandium, beryllium, indium, bismuth, cadmium, tantalum and niobium, as well as lead, zinc, tin and tungsten. The rational technology of their extraction will make it possible to obtain the most valuable raw materials and radically improve the environmental problems of mining areas.

Keywords: tailing dump, rare metals, deposit, content, reserves, Eastern Transbaikalia.

Забайкальский край относится к историческим горнопромышленным регионам России. Здесь добыты первые российские серебро, рудное золото, флюорит, олово, вольфрам, молибден висмут и литий. Более 300 лет с перерывами в Восточном Забайкалье отрабатывались полиметаллические месторождения, руды которых содержали наряду с цинком, свинцом, золотом и серебром висмут, кадмий, таллий, галлий [1]. С 1811 года Забайкалье стало важнейшим источником олова в России, основная масса которого добыта из крупных Хапчерангинского и Шерловогорского месторождений в XX в. Добыча висмута начата в 1916 г. на Шерловой Горе. Литий в составе его главного минерала сподумена ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$) начали извлекать из сподуменовых руд пегматитовых даек Завитинского месторождения в 1942 г., получение тантал-ниобиевого концентрата началось в 1962 г.

В это же время началась добыча танталовых руд Орловского месторождения, хвосты обогащения которых складировались в хвостохранилище №1 вместе с отходами обогащения вольфрамовых руд Спокойнинского месторождения. Эта фабрика работала до 1983 г., когда была задействована обогатительная фабрика № 2, также перерабатывавшая руды этих двух месторождений. Но добыча танталовой руды Орловского месторождения осуществлялась периодически до 2001 г. Поэтому распределение полезных компонентов, происходящих из руд Орловского (тантал, ниобий, литий, бериллий) и Спокойнинского (вольфрам, литий, бериллий, ниобий) месторождений, неизвестно.

Харитоновым Ю.Ф. и Васильевым В.Г., выполнившими в 1997 г. первое обобщение по распределению полезных компонентов в отходах горного производства горнодобывающих предприятий Читинской области по состоянию на 1996 г., содержание бериллия и лития в хвостах обогатительных фабрик Орловского ГОКа было принято равным содержанию в первичных рудах (0,024 % для бериллия и 1,5 % для лития в форме лепидолита), поскольку они не извлекались в концентрат.

Однако, вся руда поступала в передел и соотношение химических элементов и содержащих их минералов менялось. Поэтому в данной работе с учетом известных результатов указанных авторов использованы наши новые аналитические материалы, полученные в результате анализа проб, отобранных из хвостохранилищ Орловского ГОКа в 1994, 2018, 2019 гг., Забайкальского ГОКа и Малокулиндинского рудника в 2019 г.

К редким элементам, кроме традиционных бериллия, лития, тантала и ниобия, отнесены также мало распространенные кадмий, висмут, индий, скандий, имеющие стратегическое значение, использование которых в современных промышленных технологиях неизменно возрастает. Они образуют относительно высокие концентрации в отходах обогащения олово-полиметаллических Хапчерангинского и Шерловогорского месторождений в связи с тем, что не извлекались. Типичные редкие элементы (тантал, ниобий, литий, бериллий) представлены в рудах, разрабатывавшихся Завитинского (литий в сподумене, бериллий, тантал, ниобий), Орловского (литий в лепидолите и циннвальдите, тантал в микролите и колумбит-танталите) [2] и Малокулиндинского (бериллий в берилле, тантал и ниобий в колумбит-танталите литий в мусковите и, в меньшей мере, сподумене [3]) месторождений.

В табл. 1 приведены массы отходов и средние содержания указанных выше редких элементов в отходах обогатительных фабрик, находящихся в хвостохранилищах. Использованы уточненные данные по массе отходов в хвостохранилищах, полученные Харитоновым Ю. Ф. и Васильевым В. Г. в 1997 г. и частично опубликованные в работе [1].

Таблица 1

Оценка массы отходов горного производства и содержания в них редких элементов

Промышленный тип руды, месторождение	Отходы, тыс. т	Элемент и его содержание, г/т							
		Bi	Cd	Sc	In	Be	Li	Nb	Ta
Олово-полиметаллический, Хапчерангинское	6200	2,8	27,8	35,3	1,8	<5	397	7	2,3
Олово-полиметаллический, Шерловогорское	17617	22,5	10,9	118	3,8	10,7	40	32	3
Олово-литий-танталовый, Завитинское	11815	0,5	0,24	2	Н.д.	56	652	42	19
Литий-танталовый, Орловское, бериллий-вольфрамовый, Спокойнинское, хвостохранилище фабрики №1(1962-1983 гг.)	3174	30,8	0,4	143	0,4	148	833	80	42
Литий-танталовый, Орловское, бериллий-вольфрамовый Спокойнинское, хвостохранилище фабрики №2 (1983 – 2001)	8180	7,7	0,5	141	Н.д.	96	183	45	20
Бериллий-олово-танталовый, Малокулиндинское	535	0,7	0,5	2,3	Н.д.	79	248	34	39

Как видно из анализа табл. 1, наибольшие массы отходов находятся в хвостохранилищах горных предприятий, разрабатывавших Шерловогорское, Завитинское, Орловское и Спокойнинское месторождения. Из рассматриваемых химических элементов оптимальными содержаниями характеризуются висмут в хвостах Шерловогорского и Орловского ГОКа, кадмий – Хапчерангинского и Шерловогорского, скандий – Шерловогорского и Орловского, индий – Шерловогорского, бериллий – в отходах руд Завитинского, Орловского и Малокулиндинского месторождений. Максимальные содержания лития характерны для отходов Забайкальского, фабрики №1 Орловского ГОКов и Малокулиндинского рудника. Наиболее высокими содержаниями тантала отличаются пески Малокулиндинской обогатительной фабрики и фабрики №1 Орловского ГОКа. Ниобий типичен также для отходов этих фабрик. Он присутствует в относительно высоких концентрациях в отходах обогащения руд всех рассматриваемых месторождений, кроме Хапчерангинского.

Оценка запасов рассматриваемых химических элементов дана в табл. 2.

Таблица 2

Оценка запасов редких металлов в хвостохранилищах обогатительных фабрик олово-полиметаллических и редкометаллических месторождений Восточного Забайкалья

Месторождение, хвостохранилище	Отходы, тыс. т	Элемент и его запасы, т							
		Bi	Cd	Sc	In	Be	Li	Nb	Ta
Хапчерангинское	6200	17,4	172,4	218,9	11,2	Нет	246,2	4,3	1,4
Шерловогорское	17617	396,4	192,0	2079	66,9	188,5	704,7	564	52,9
Завитинское	11815	5,9	2,8	23,6	Н.д.	661,6	7703	496	224,5
Орловское и Спокойнинское, фабрика №1(1962-1983 гг.)	3174	97,8	1,3	453,9	1,3	469,8	2644	253	133,3
То же, фабрика №2 (1983 – 1997 гг.)	8180	63	4,2	1153	Н.д.	785,3	1497	368	163,6
Малокулиндинское	535	0,4	0,3	1,2	Н.д.	42,26	132,7	18,2	20,9
Сумма	47521	580,9	373,0	3927	79,4	2147,5	12928	1704	596,6

Примечание : Н.д. – нет данных.

Анализ таблицы показывает, что максимальными запасами висмута, кадмия, скандия, индия и ниобия обладает хвостохранилище Шерловогорского ГОКа. Отходы Забайкальского ГОКа характеризуются наибольшими запасами лития и тантала, а также вторыми по значимости запасами бериллия и ниобия. Хвостохранилище фабрики №1 Орловского ГОКа отличается относительно большими запасами лития, а фабрики №2 – первыми по значимости запасами бериллия, и вторыми – скандия. Существенны здесь также запасы лития. Наибольшие суммарные запасы в геотехногенных месторождениях выявлены для лития (12 928 т), скандия (3 927 т) и бериллия (2 147,5 т). При этом не учтены запасы бериллия в хвостохранилище №3 Забайкальского ГОКа, где складировались отходы переработки богатейших руд Ермаковского месторождения и бериллоносных пегматитов Завитинского месторождения.

Кроме редких элементов в хвостах обогащения руд рассматриваемых месторождений присутствуют полезные компоненты, обеспечивающие комплексность этих геотехногенных руд и существенно увеличивающих эколого-экономическую целесообразность их переработки. Оценка содержания и запасов всех полезных компонентов, кроме редких элементов, дана в табл. 3.

Таблица 3

Оценка запасов сопутствующих полезных компонентов в хвостохранилищах обогатительных фабрик олово-полиметаллических и редкометаллических месторождений Восточного Забайкалья

Месторождение, хвостохранилище	Отходы, тыс. т	Элемент, его содержание, % , запасы , тыс. т							
		Pb		Zn		Sn		W	
Хапчерангинское	6200	0,133	8,25	0,321	19,9	0,044	2,73	0,002	0,24
Шерловогорское	17617	0,26	45,8	0,410	72,2	0,058	10,2	0,001	1,8
Завитинское	11815	0,003	0,354	0,007	0,827	0,003	0,354	7	0,083
Орловское и Спокойнинское, фабрика №1	3174	0,005	0,159	0,018	0,571	0,003	0,095	440	1,397
То же, фабрика №2	8180	0,003	0,245	0,004	0,327	0,005	0,409	634	5,186
Малокулиндинское	535	0,002	0,0107	0,009	0,0482	0,005	0,0267	4	0,0021

Анализ этих данных свидетельствует о значительных запасах свинца, цинка и олова в отходах обогащения руд Шерловогорского месторождения, и, в меньшей мере, Хапчерангинского. Отходы Шерловой Горы содержат также и серебро, запасы которого при среднем содержании 7,8 г/т составляют 137,4 т. Большими запасами вольфрама отличаются лежалые хвосты фабрик №2 Орловского ГОКа и меньшими – обогатительной фабрики №1 этого же горного предприятия.

Все рассматриваемые полезные компоненты, находящиеся в отходах обогатительных фабрик, связаны с определенными минеральными ассоциациями, извлечение которых возможно с использованием единой комплексной технологии.

Выполненное ранее изучение минерального состава руд олово-полиметаллических месторождений показало, что олово связано, в основном с касситеритом, частью со станнином. В касситерите находится и существенная часть индия, ниобия и скандия. Часть индия и весь кадмий связаны со сфалеритом, висмут в Шерловогорском (Сопка Большая) оловополиметаллическом месторождении связан как с галенитом и галеновисмутитом, так и с висмутином. Весь бериллий и часть скандия связаны с бериллом, что нами показано в [4; 6]. В ассоциации с касситеритом и сфалеритом в отходах находится индий, с касситеритом связан также скандий, висмут находится частично в галените и висмутине, а литий в слюдах.

В хвостохранилищах Орловского ГОКа кроме редких элементов находится большое количество вольфрама. При этом литий в отходах обогащения руд Завитинского месторождения находится в сподумене, Орловского ГОКа в мусковите и сидерофиллите (Спокойнинское), лепидолите и циннвальдите (Орловское), а Мало-Кулиндинского – в мусковите [3].

Анализ всех полученных новых данных о составе отходов обогатительных фабрик рассматриваемых предприятий свидетельствует о том, что мы имеем дело с новыми геотехногенными месторождениями, формирующимися на протяжении трехсотлетней истории горнодобывающей промышленности Восточного Забайкалья.

В результате рассмотрения горнопромышленных территорий как геосистем с особыми геохимическими свойствами выполнена их геохимическая типизация и определена их геохимическая унасле-

дованность от рудноформационного типа обрабатываемых месторождений [5] и установлено, что среди рассматриваемых горнопромышленных объектов наибольшую экологическую опасность представляют отходы переработки олово-полиметаллических руд, ландшафтные системы территорий которых отличаются высокими содержаниями мышьяка, свинца, кадмия, цинка (табл. 4) по сравнению с вольфрамовым и редкометалльным.

Таблица 4

Типичные ассоциации химических элементов и их концентрации (г/т) в геотехногенных ландшафтах рассматриваемых месторождений

Месторождение и связанная с ним гео-система	Рудная формация	Геохимическая ассоциация	Геохимический тип
Хапчерангинское, Шерловогорское	Олово-полиметаллическая	As (650) Sb(40), Pb (1200), Mo(26), Zn (1750), Cd (18), Sn (260), W (50), Bi (16), F, Tl	Кадмий-олово-сурьмяно-висмут- мышьяково-свинцово-цинковый
Спокойнинское	Грейзеновая сульфидно-кварцево-вольфрамитовая	Zn (400), Cd (8), Bi (240), W (988), Mo (38) Pb (51), Cu (214), Ag (12), Be (8)	Висмут-кадмий-цинк-вольфрамовый
Орловское, Мало-Кулиндинское, Завитинское	Редкометалльных пегматитов	Ta (70), Nb (115), Li (1018), Cs (221), Be (18)	Бериллий-тантал- ниобий-цезий- литиевый

Ландшафты Хапчерангинского и Шерловогорского месторождений относятся к наиболее опасному кадмий-олово-сурьмяно-висмут-мышьяково-свинцово-цинковому геохимическому типу. Ландшафты с вольфрамовым оруденением, характеризуются незначительным содержанием мышьяка, свинца и кадмия, а с редкометалльным оруденением из наиболее опасных элементов содержит бериллий, который отличается весьма слабой миграционной способностью. Отсюда следует, что в первую очередь для улучшения экологической обстановки и получения наиболее ценных индия, скандия и бериллия целесообразно разработать технологию извлечения этих элементов, а попутно с ними висмута и кадмия. Как сказано выше, индий и скандий связаны с касситеритом, часть индия и кадмий находятся в сфалерите, а висмут находится в галените. Все эти элементы остались в отходах передела с использованием комбинированного гравитационно-флотационного способа в связи с нахождением в тонких сростках или в виде изоморфных примесей в процессе, которые не были извлечены применением этого способа.

Приведенные данные однозначно свидетельствуют о целесообразности разработки программы переработки отходов деятельности горно-промышленных предприятий для получения ценнейших химических элементов и улучшения экологической ситуации рассмотренных геосистем и решения проблем геоэтики [7]. С учетом комплексности новых геотехногенных руд и необходимости полного извлечения всех полезных компонентов при разработке технологии их извлечения целесообразно совершенствование методов хлоридной металлургии, разработанных в 1960-х годах для Шерловогорского месторождения в ЗабКНИИ Мингео СССР В.И. Буяновым и его последователями [1].

Список литературы

1. Геологические исследования и горнопромышленный комплекс Забайкалья / Юргесон Г. А., Четкин В. С., Асосков В. М. и др. Новосибирск : Наука, 1999. 576 с.
2. Гребенников А. М. Орловское танталовое месторождение // Месторождения Забайкалья / под ред. акад. Н. П. Лаврова. М. : Геоинформарк, 1995. Т. I, кн. II. С. 96-115.
3. Гребенников А. М. Мало-Кулиндинское танталовое пегматитовое месторождение // Месторождения Забайкалья / под ред. акад. Н. П. Лаврова. М. : Геоинформарк, 1995. Т. I, кн. II. С. 116-124.
4. Скандий Шерловой Горы / Г. А. Юргенсон, О. В. Кононов, А. С. Афанасьева и др. // 200 лет РМО. Юбилейный съезд Росс. Минерал. общ-ва. Материалы конференции. Т.2. СПб, 2017. С. 356- 357. URL: <http://www.minsoc.ru/2017-1-299-0> (дата обращения: 17.05.2021).
5. Юргенсон Г. А. Ландшафтно-геохимические и геоэтические проблемы исторических горнопромышленных территорий на примере Забайкалья // Горный журнал. 2020. № 5. С. 81-86. DOI: 10.17580/gzh.2020.5.15
6. Borzenko A. A., Yurgenson G. A. Scandium, Yttrium and Lanthanids in the Beryl of the Sherlovaya Gora Deposit // Springer Nature Switzerland AG 2020. S. Votyakov et al. (eds.), Minerals: Structure, Properties, Methods of Investigation, Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, pp. 37-42. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-49468-1_5
7. Yurgenson G. A., Nemec V. Actual geoethical and geoenvironmental problems and history of developing geoethics in the Russian Federation // Abstracts of the International Conference on geothics. Prague – Příbram, 2015. pp. 14-15.