

**ТЕХНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ* В ОТВАЛАХ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ
КОМБИНАТОВ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА**

И.Ю. Рассказов, Н.И. Грехнев, Т.Н. Александрова

ФГБУН Институт горного дела ДВО РАН, ул. Тургенева 51, г. Хабаровск, 680000;

e-mail: adm@igd.khv.ru, igd@rambler.ru

Поступила в редакцию 16 июля 2012 г.

В статье представлены геолого-экономические и экологические аспекты сохранения хвостохранилищ с целью вовлечения в переработку техногенных комплексных месторождений полезных ископаемых, сформированных в хвостах обогащения обогатительных фабрик горнопромышленных районов южной части Дальневосточного региона. Хвосты обогащения, сконцентрированные в крупных хвостохранилищах, рассматриваются многими исследователями как крупные комплексные техногенные месторождения, содержащие значительные запасы меди, олова, мышьяка, свинца, цинка, редких и благородных металлов. Показано, что хвосты обогащения вместе с содержащимися техногенными месторождениями представляют собой наиболее мощные и долговременные источники химического загрязнения природной среды, особенно поверхностных водотоков и промышленных горизонтов подземных вод.

Ключевые слова: техногенные месторождения, редкие металлы, минеральные отходы, кислые подотвальные воды, Дальний Восток России.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большинство крупных месторождений в Дальневосточном регионе в значительной степени выработаны или истощены. В то же время промышленность нуждается в открытии новых объектов промышленного освоения, отвечающих современным требованиям к минеральному сырью не только по содержанию металла и качеству руд, но и по видам сырья и количественным параметрам содержащегося в нем полезного компонента. С этих позиций естественно повышается интерес к освоению техногенных месторождений с целью не только извлечения основных компонентов, но и комплексной добычи других, включая цветные, благородные, редкоземельные металлы и строительные материалы. В дальнейшем спрос на техногенные месторождения будет естественно возрастать, особенно в период дальнейшего развития научно-технического прогресса и внедрения новых прогрессивных технологических и технических способов разработки месторождений и извлечения ценных компонентов.

В результате сравнительно короткой истории освоения коренных месторождений в Дальневосточном регионе в отвалах закрывшихся горных предприятий накоплено более 5 млрд тонн твердых минеральных отходов, в том числе свыше 300 млн т складировано в хвостах обогащения [4, 8]. Несмотря на резкое снижение в последнее время темпов добычи сырья, объем минеральных отходов в хвостохранилищах постоянно растет в связи с вовлечением в разработку месторождений с бедными рудами. Кроме того, столь быстрое накопление объемов минеральных отходов в хвостохранилищах можно объяснить несколькими основными причинами:

1) противоречием между изменением характера минерально-сырьевой базы, т.е. вовлечением в переработку труднообогатимых и бедных руд, и состоянием техники и технологии первичной переработки минерального сырья [16];

2) низким уровнем извлечения цветных и редких металлов при реальном отсутствии комплексности добычи попутных ценных металлов и компонентов,

*Техногенные месторождения представляют собой крупномасштабные скопления минеральных веществ в отходах обогатительного и других видов горного производства, расположенные на поверхности Земли или в горных выработках и пригодные по количественным и качественным показателям содержащихся в них полезных компонентов для промышленного освоения [18].

что способствует быстрому накоплению объемов минеральных отходов;

3) отсутствием диверсификации производства по рекуперации ценных компонентов и широкой реутилизации горнотехнических отходов в период завершения проектных работ на горных объектах.

Вследствие этих причин в лежалых хвостохранилищах почти всех горно-обогатительных комбинатов (ГОКов) на незначительной по размерам площади накапливаются огромные объемы минеральных отходов, зачастую содержащих очень ценные металлы (медь, вольфрам, олово, мышьяк, серебро, висмут, редкоземельные элементы и др.) (рис. 1). В настоящее время они представляют собой комплексные техногенные месторождения со значительными запасами цветных, редких (редкоземельных), драгоценных металлов и неметаллических полезных ископаемых, которые десятилетиями хранятся в хвостах закрывшихся ГОКов без дальнейшей перспективы их практического использования в ближайшей и среднесрочной перспективе [7, 8, 26].

Известно, что в развитых странах уровень использования отходов горнодобывающих предприятий составляет 60–65 %, что не только существенно влияет на повышение рентабельности горных предприятий, но и приводит к значительному снижению негативного воздействия их на природные экосистемы.

Современная исходная научная позиция при решении проблемы отходов горнопромышленного производства рассматривается как минеральная база для получения новых ресурсов для поддержания потенциала недр, а также изменения их состояния в целях их дальнейшего использования. Создана и оправдывает себя в производственном цикле сорбционная технология извлечения меди из стоков горнорудных предприятий гранулированными пиритсодержащими отходами [28]. В Институте горного дела ДВО РАН разработаны гравитационно-флотационные способы извлечения золота из техногенных россыпных месторождений, которые применимы и для переработки хвостов обогащения.

При изучении возможностей извлечения ценных компонентов из отвалов горно-металлургического производства исследования должны сопровождаться современными методами технологической минералогии с применением новейших аналитических приборов и методов [20].

Технологические схемы переработки отвальных отходов, хвостов обогащения и других горнотехнических объектов должны проводиться с неизменной задачей снижения экологической и горнотехнической нагрузки на природные экосистемы и окружающую среду предприятий.

Целью и основной задачей настоящей статьи является привлечение внимания и интереса недропользователей к освоению комплексных техногенных месторождений с применением прогрессивных технологий, а также научных и контролирующих организаций к широкому изучению техногеохимического воздействия хвостохранилищ на различные компоненты окружающей природной среды.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При проведении исследований использованы первичные материалы геологических отчетов предприятий дальневосточных ГОКов и территориальных фондов, а также анализ многочисленных публикаций и монографий [1, 5, 7–10, 11–16 и др.]. Кроме того, авторами проведено комплексное изучение минералого-геохимического состава отвальных материалов добычи и переработки рудной массы многих горнопромышленных предприятий, отдельных рудников и горных объектов непосредственно при исследовании в полевых условиях. В частности, в изучение были вовлечены горные объекты ОАО «ГМК» «Дальполиметалл», Краснореченского, Ярославского и Лермонтовского ГОКов, химкомбината «БОР» (Приморский край), Солнечного (Хабаровский край), Хинганского (ЕАО) ГОКов, основное внимание при котором уделялось изучению минералогического и химического состава хвостохранилищ, дренажных вод, опробованы гидро- и литохимические потоки поверхностных водотоков, дренирующих рудные районы (вода, донные илы, взвеси и водная растительность [5, 7–10]).

Оловорудные месторождения Комсомольско-го рудного района осваивались Солнечным ГОКом с 1960 по 1995 гг., в последующие годы другими горными компаниями. В структуре ГОКа функционировали 5 рудников (Солнечный, Перевальный, Придорожный, Молодежный и Октябрьский), 2 обогатительные фабрики (Солнечная и Центральная ОФ), множество поверхностных и подземных горных выработок, сформировано 3 хвостохранилища и ряд горнотехнических объектов, сосредоточенных в бассейне р. Силинка, левого притока р. Амур. В бассейне р. Лев. Силинка расположены коммуникации рудников Солнечный, Перевальный и Придорожный, а в бассейне р. Холдами (правый приток р. Лев. Силинка) – рудник Молодежный и участок Октябрьское, которые и определили минеральный состав хвостохранилищ Центральной обогатительной фабрики (ЦОФ) [16].

При составлении Проекта ТЭО «К организации Солнечного горно-металлургического комбината ОАО Солнечный ГОК» был сделан ориентировочный подсчет запасов полезных компонентов в одном из наиболее крупных (24 млн т) хвостохранилище Цен-

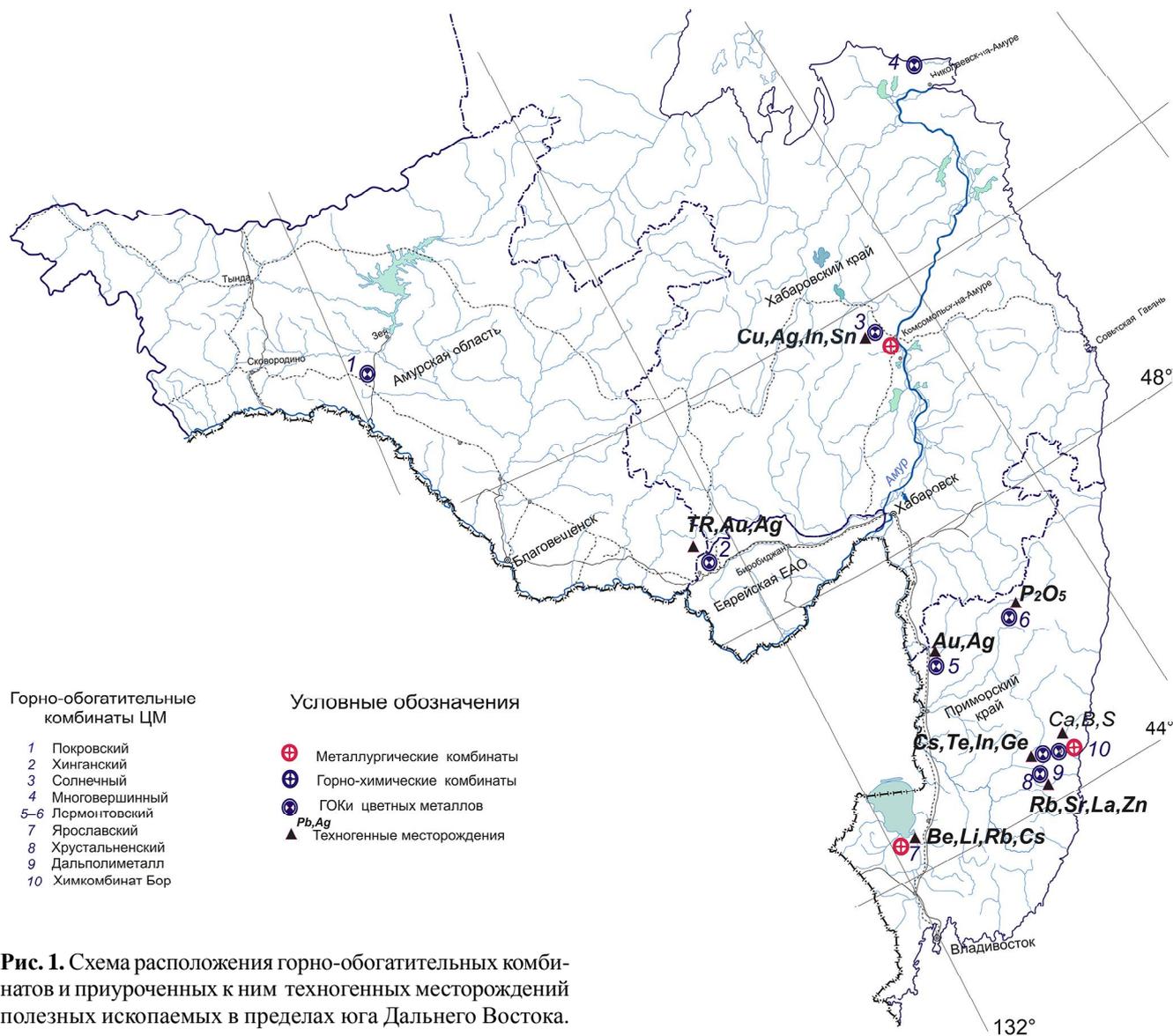


Рис. 1. Схема расположения горно-обогатительных комбинатов и приуроченных к ним техногенных месторождений полезных ископаемых в пределах юга Дальнего Востока.

тральной обогатительной фабрики (ЦОФ), содержащем хвосты обогащения Фестивального и Октябрьского месторождений (табл. 1). По данным [16], в хвостохранилище ЦОФ содержатся крупные запасы (тыс. т) с промышленным содержанием меди (110.8), олова (48.7), цинка (22.5), свинца (29.6), мышьяка (151.6) и других полезных компонентов. Из благородных металлов привлекает внимание наличие серебра, содержание которого достигает 12.27 г/т.

Все показанные в табл. 1 прогнозные запасы металлов позволяют отнести данное хвостохранилище к крупному комплексному техногенному месторождению.

Два других хвостохранилища (руч. Первый и руч. Долгий) заполнены хвостами обогащения Солнечного, Придорожного и Перевального месторожде-

ний, которые значительно меньше по объему, и их вещественный состав практически не изучен. Хотя хвостохранилище руч. Первого (хвосты Солнечной ОФ) вовлекалось в разработку с целью отбора материала для разубоживания богатых руд месторождения или для выполнения плана по добыче рудной массы. В настоящее время на обогатительной фабрике выбирают из него «обогащенные», оставленные там с прежних времен, излишки касситерита с содержанием олова свыше 0.03 %. В 2010 г. разрыхленный экскаватором материал хвостохранилища был частично смыт в ложе долины р. Лев. Силинка, в результате чего создалась сложная экологическая обстановка в пос. Горный, после его затопления дождевыми водами и отложениями механических наносов, в т.ч. химических соединений, на почвенную поверхность поселка и дачных участков.

Таблица 1. Ориентировочные запасы ценных металлов и песков в хвостохранилище центральной обогатительной фабрики Солнечного ГОКа, по [16].

Наименование отходов ЦОФ и полезных компонентов в них	Состояние запасов на 01.05.2002 г		
	Пески, т	Содержание полезных компонентов в песках, %	Ориентировочные запасы металлов, т
Хвосты фабрики и содержание в них:	24091090	–	–
Олово		0.202	48687.5
Медь		0.46	110822.3
Цинк		0.094	22526.5
Свинец		0.123	29584.9
Триоксид вольфрама		0.04	9564.9
Серебро		12.27 г/т	0.295
Висмут		0.03	7234
Мышьяк		0.629	151623.5

Кавалеровский рудный район является крупным оловорудным районом в Приморском крае, месторождения которого отрабатывал Хрустальненский ГОК (ХГОК).

Минерально-сырьевую базу ХГОКа составляют месторождения Кавалеровского и Арминского рудных районов Приморья, эксплуатировавшиеся в разные годы: Хрустальненское, Силинское, Арсеньевское, Высокогорское, Тернистое, Дубровское, Верхнее, Искринское, Сопочное, Голубое касситерит-силикатные и касситерит-сульфидные месторождения жильного и прожилково-вкрапленного морфологических типов. Среднее содержание олова в рудах некоторых месторождений составляло около 0.38 %. Кроме олова, балансом запасов в рудах отдельных из них учтены свинец, цинк, кадмий и серебро. Так в Арсеньевском месторождении показаны медь, висмут, мышьяк, в Дубровском – индий, в Верхнем и Тернистом – свинец, цинк, кадмий, серебро (табл. 2). Всего заполнено хвостами обогащения 5 хвостохранилищ с суммарным объемом накопленных в них хвостов свыше 48 млн т [2, 14, 21].

Как следует из табл. 2, основное внимание при освоении месторождений уделялось олову, хотя учитывались (но не извлекались) попутные металлы, такие как медь, свинец, цинк, кадмий и серебро. Малые элементы, входящие в касситерит (индий, скандий и др.) и сфалерит (кадмий), по-видимому, извлекались при металлургическом переделе на Новосибирском оловозаводе.

Хинганский ГОК разрабатывал Хинганское и Карадубское оловорудные месторождения. Первое, наиболее крупное из них, связано с крутопадающими телами эксплозивных брекчий, образующих руд-

ный штокверк. Рудные минералы представлены касситеритом и, в небольших количествах, сфалеритом, халькопиритом, арсенопиритом, пиритом, галенитом, вольфрамитом. Нерудные минералы – флюорит, кварц, хлорит. Среднее содержание олова в руде Хинганского месторождения составляло до 0.69–0.82 %. Оруденение прослежено до глубины 900 м, прогнозируется до 3 км. Карадубское месторождение сложено, в основном, жильными телами, в которых рудными минералами являются касситерит, арсенопирит, пирит, сфалерит, из жильных – турмалин, флюорит, топаз и хлорит. Среднее содержание олова по отдельным участкам колебалось от 0.48 до 1.25 %. В период с 1969 г. по 1981 г. из перерабатываемых руд Хинганского месторождения попутно извлекался флюорит. Позднее от его добычи отказались из-за экономической нерентабельности.

Дополнительное изучение элементного состава хвостов обогащения Хинганского ГОКа проведено в 2011 г. с помощью опробования керна буровых скважин, пройденных по периметру хвостохранилища (пробы усреднены по скважине), и последующим анализом методами атомной адсорбции (ААС), рентгенофлуоресцентным (РФА) и растровой электронной микроскопии с энергодисперсионным детектором (РЭМ-РСМА). Результаты определения основных сопутствующих компонентов и олова (ААС) по данным РФА приведены на рис. 2 и в табл. 3.

Рудные минералы, за исключением касситерита, в небольших количествах представлены сфалеритом, халькопиритом, арсенопиритом, пиритом, галенитом, вольфрамитом. Нерудные минералы: кварц, хлорит, флюорит. Редкие и редкоземельные элементы (РЗЭ) довольно часто встречаются как в рудах месторожде-

Таблица 2. Запасы олова и попутных металлов в хвостохранилищах Хрустальненского ГОКа (состояние на 01. 01. 2004 г.), по [23].

№№ п/п	Наименование объекта	Объемы хвостов, тыс. т	Содержание в % (числитель); в знаменателе – запасы – в тоннах					Серебро, г/т	Золото, г/т
			Олово	Медь	Свинец	Цинк			
1	Фабрика №1 (ЦОФ)	33841	<u>0.101</u> 36804	<u>0.039</u> 13200	<u>0.089</u> 30120	<u>0.27</u> 91370	–	–	
	Суммарно в 3-х хвостохранилищах	9847	<u>0.18</u> 17463						
2	Фабрика № 2 пос. Рудный	2055	<u>0.155</u> 3180	<u>0.05</u> 1030	<u>0.01</u> 205	<u>0.05</u> 1030	–	–	
3	Фабрика № 3 п. Высокогорск	905	<u>0.23</u> 2110	<u>0.18</u> 1630	<u>0.03</u> 270	<u>0.05</u> 450	<u>18</u> 0.016	<u>0.6</u> 0.0054	
4	Фабрика № 4 пос. Таежка	2249	<u>0.23</u> 5272	<u>0.16</u> 3600	<u>0.08</u> 1800	<u>0.11</u> 2470	–	–	
5	Всего	48897	64829	19460	32395	95320	0.016 т	0.0054 т	

ния, так и в хвостах обогащения Хинганского ГОКа и, как правило, приурочены к обогащенным фракциям минералов флюорита, монацита, флюоцерита, ксенотима, фергусонита (?), а также к тантало-ниобатам и рутилу (ильменорутилу).

На Хинганском месторождении значительная часть РЗЭ концентрируется во флюорите – одном из основных жильных минералов. При этом РЗЭ накапливались преимущественно в флюорите, ассоциирующем с рудной фазой, где среднее содержание лантаноидов достигает 468 г/т, в то время как в «дорудном» и «пострудном» – 133.5 и 219.5 г/т, что позволяет эти породы отнести к грейзеновым образованиям. В оловоносных брекчиях содержание этих элементов колеблется в пределах (г/т): Y – 47–66, La – 30–40, Ce – 4–71, Nd – 35–59, Rb – 153–321, Sr – 54–119, Zr – 236–354, Nb – 34–47, Ва – 26–63 [6].

Рудные тела и вмещающие породы содержат небольшое количество (менее 1 %) сульфидов, а потому в вещественном составе хвостов обогатительной фа-

брики мало сульфидных минералов, соответственно в хвостохранилище не создается условий для формирования агрессивных (сернокислотных) растворов, с которыми связаны основные минералого-геохимические процессы. Следовательно, дренажные воды хвостохранилища не являются активными источниками геохимического загрязнения окружающей природной среды. Пески хвостохранилищ используются в небольшом объеме для местного дорожного строительства, а также для штукатурных и бетонных работ.

С момента пуска ОФ (1965 г.) до времени останковки (2003 г.) на ГОКе было переработано свыше 3 806 180 т руды, что позволило накопить около 3 750 тыс. т хвостов обогащения. На Карадубском месторождении за период 1976–1988 гг. дополнительно образовалось около 200 тыс. т хвостов, сосредоточенных на площади около 32 тыс. м².

В целом, Хинганское месторождение характеризуется касситерит-флюорит-адуляр-гидромусковитовым продуктивным парагенезисом [6], являющимся фацией топазово-слюдистых грейзенов, вскрытых на глубине 1200 м. Небольшие месторождения из этой группы представлены топазово-слюдистыми грейзенами с чехлами кварц-турмалиновых и хлоритовых метасоматитов. Наконец, Джалиндинское месторождение, расположенное в северной части района вблизи фундамента, сложено серицит-кварцевыми метасоматитами с колломорфным касситеритом и крайне редкой вкрапленностью сульфидов, определяется как близповерхностное грейзеновое.

Отходы обогащения Ярославского ГОКа накоплены в трех хвостохранилищах, расположенных каскадом одно за другим на северо-восточной окраине п. Ярославка (Приморский край). Верхнее из

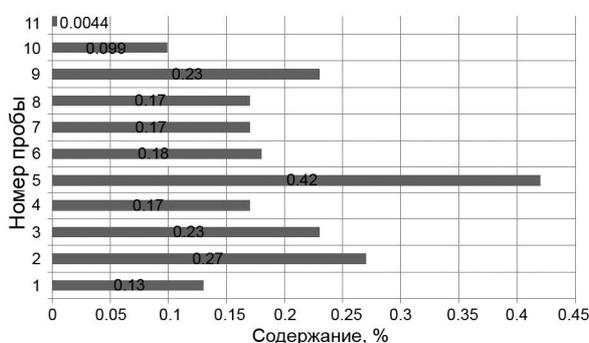


Рис. 2. Содержание олова в хвостах обогащения Хинганского ГОКа.

Таблица 3. Элементный состав хвостов обогащения Хинганской ОФ (г/т).

№ п/п	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Mo	Ba	W
1	19368	512	130	509	15503	–	627	32	191	8	201	6	107	86
2	21452	517	147	532	14125	93	581	17	195	9	218	2	103	102
3	23232	598	127	496	14365	106	429	12	177	10	237	9	88	95
4	157334	239	50	393	15598	20	203	46	172	18	183	7	112	70
5	24312	586	97	676	19462	137	552	31	234	13	251	12	110	102
6	22102	617	128	847	21304	130	816	22	228	12	183	8	134	106
7	20685	513	124	535	17242	114	223	59	180	9	200	6	116	68
8	146186	254	85	427	15511	37	386	31	175	17	178	7	128	79
9	23947	640	87	803	23469	49	556	101	174	9	192	9	112	92
10	1123	1123	167	1045	33728	216	964	162	188	14	311	–	250	118
11	18328	1142	171	794	33430	156	811	398	173	11	317	–	243	119

Таблица 4. Распределение главного и попутных полезных ископаемых при обогащении минерального сырья на ОФ Ярославского ГОКа, по [5, 19, 24].

Полезный компонент	Единицы измерения	Содержание в руде	Извлечение в концентрат	Потери с концентратом	Потери в хвостах	Содержание (%) в хвостах
CaF ₂	т	138	87	–	49.7	14.31
Be ₂ O		402	–	19	383	0.116
Li ₂ O		2010	–	67	1943	0.59
Rb ₂ O		524	–	29	495	0.32
Cs ₂ O		44	–	2	42	0.015

них, оловянное, законсервировано, второе и третье флюоритовые – действующие. Максимальная высота ограничивающей плотины 27 м, абсолютная отметка гребня – 125 м, отметка поверхности воды в прудке – 118.9 м. Всего на 01.1995 г. в хвостохранилище ОФ было накоплено 16 775 600 т песков, в которых содержится: BeO – 19 487.8 т при содержании 0.116 %, Li₂O – 99 438.7 т (0.59 %); Rb₂O – 53 174.5 т (0.32 %) и Cs₂O – 2518.1 т (0.015 %) (табл. 4). Содержание флюорита во 2-м и 3-м хвостохранилищах составляет около 14 % [14, 20, 23].

Сконцентрированные в хвостохранилищах отходы содержат значительное количество не только флюорита, но и попутных минералов и представляют собой высококачественный вторичный источник редкометалльного сырья. Концентрации попутных компонентов в хвостах обогащения даже выше, чем в исходной руде, поскольку редкие металлы, в основном, сосредоточены в слюдах (мусковит, лепидолит и др.), которыми заполнено хвостохранилище.

Изучением технологии извлечения редких элементов (РЭ) из слюд занимались многие организации, и было предложено несколько технологических схем [3, 23, 27]. Попутные полезные компоненты, попавшие в плавикувошпатовый концентрат, с одной стороны, представляют собой безвозвратные потери минерального сырья, а с другой – являются источником

загрязнения окружающей природной среды и селитебных территорий при его дальнейшем металлургическом переделе. Значительное количество основного и попутных полезных компонентов присутствует в рудных отвалах и на шихтовальных дворах, где складываются отходы переработки цинковой руды, добытой на Вознесенском месторождении, содержащие: индий (до 0.004 %), кадмий (0.01 %), флюорит (14.07 %) и другие элементы. Основные механизмы загрязнения – пылевая дефляция рудных складов, плоскостной смыв в поверхностные водотоки и инфильтрационный дренаж в горизонты подземных вод. Судя по результатам геохимического опробования почв и снегового покрова в пространстве от п. Ярославский к северу, практически до побережья оз. Ханка, выполненного в 1991–1992 гг. исследовательской группой ДВИМСа [5, 19, 21], спектр элементов-загрязнителей существенно шире, чем это контролировалось природоохранной службой. На этой территории литохимическим опробованием установлены такие элементы-загрязнители (%): Be – 0.01–0.3, Li – 0.2–0.8, Bi – 0.001–0.02, Cu – 0.003–0.1, W – 0.001–0.1. В снеговой пыли кроме отмеченных выше обнаружены высокие концентрации элементов-загрязнителей (Zn – 0.2–0.8 %, Cu – 0.01–0.03 %, Sr до 0.4 %) [21].

С пыле-газовыми выбросами Ярославского ГОКа связано интенсивное аэрозольно-газовое загрязнение

Таблица 5. Результаты полного химического анализа конечных продуктов обогащения месторождения Лермонтовской ГРК по комбинированной гравитационно-флотационной схеме, по [13].

Компонент	Концентрат, %	Хвосты, %	Компонент	Концентрат, %	Хвосты, %
SiO ₂	3.52	70.95	W ₂ O ₃	57.04	0.86
Al ₂ O ₃	0.55	5.10	Zn	0.05	0.07
FeO	9.30	10.04	Cu	0.08	0.18
Fe ₂ O ₃	2.60	1.42	As	0.11	0.08
CaO	17.22	2.24	S общ	1.11	0.10
MgO	0.50	1.85	Sn	0.16	0.05
TiO ₂	0.27	0.25	ппп	6.60	4.60
MnO	0.01	0.19	Сумма	99.65	99.89
P ₂ O ₅	0.32	0.55			
K ₂ O	0.10	0.95			
Na ₂ O	0.11	0.08			

приземной атмосферы в районе пп. Ярославский и Вознесенка: пыль, сажа и газы – CO, SO₂, NO₂, фтористый водород, флюоритовая пыль, с которыми связаны химические загрязнители: Be, Li, Rb, Cs, Zn, Bi, W, Cu, Sr. В результате вымывания аэрозольно-газовой и пылевой фазы атмосферными осадками снеговой покров и почвы окрестностей комбината содержат широкий набор элементов-загрязнителей в концентрациях, соответствующих, а иногда и превышающих (по Li) их содержание в первичных рудах. Происходит также загрязнение гидро- и биосферы аналогичными элементами загрязняющих веществ [5, 21]. С загрязнением окружающей природной среды флюоритовой пылью связывается ухудшение состава крови, заболевания центральной нервной системы и пищеварительного тракта, флюороз, зубные и костные болезни. Загрязнение атмосферы плавиковой кислотой – один из факторов, обуславливающих выпадение кислотных дождей, вызывающих повреждение растений, особенно хвойных. Воздействуют они как непосредственно на человека, так и через пищевые цепи «растения–животные–человек». При этом страдают дыхательные пути, развиваются гепатит и атеросклероз. С загрязнением атмосферы сернистым ангидридом связано развитие бронхитов и ларингитов, а также ухудшение обоняния. Повышенные концентрации окиси углерода способствуют заболеваниям сердечно-сосудистой системы и вызывают головные боли [5].

Минерально-сырьевую базу вольфрамовой промышленности региона в основном составляют месторождения Лермонтовское и Восток-2. Основные рудные тела Лермонтовского скарново-шеелитового месторождения представлены сложными скарново-грейзеновыми залежами, развитыми по карбонатным породам и спилитам. По минеральному составу выделяется два типа первичных руд: шеелит-скарново-сульфидный и шеелит-грейзеновый. Главные минералы: шеелит, пирротин, кварц, диопсид, мусковит,

актинолит, тремолит, геденбергит; второстепенные – пирит, халькопирит, арсенопирит, вольфрамит, сфалерит, минералы висмута и др. Содержание трехоксида вольфрама в рудных телах изменяется от десятых долей процента до 40 % и составляет в среднем по первичным рудам 3.05 %, по окисленным рудам – 2.28 %, по рудному делювию – 0.92 %. Из числа попутных компонентов балансом запасов в рудных телах учтены медь, золото, серебро и сера [24].

Лабораторными технологическими исследованиями ДВИМСа установлена возможность получения кондиционных вольфрамовых концентратов из всех типов руд: при извлечении из первичных руд – 88 %, из окисленных руд – 58 %, из рудного делювия – 76.5 %. Хвосты обогатительной фабрики, объем которых составляет свыше 9 млн т, размещены на площади 965 тыс. м². Исходя из среднего состава руд, поступающих на ОФ, и достигнутых показателей извлечения, в хвостах обогащения содержится (%): W₂O₃ – 0.86, Cu – 0.18, P₂O₅ – 0.55, Sn – 0.05, As – 0.15, Bi – 0.001, Pb – 0.05, Zn – 0.05 (табл. 5).

По отчетным материалам ДВИМСа общие отвалы материалы при разработке шеелит-сульфидных руд содержат (%): SiO₂ – 42.39, Al₂O₃ – 2.79, Fe валовое – 26.18, CaO – 3.92, MgO – 1.75, TiO₂ – 0.15, MnO – 0.11, K₂O – 0.55, Na₂O – 0.26, W₂O₃ – 0.48, S общая – 14.50, P₂O₅ – 0.13, Zn – 0.05, Pb – 0.05, Cu – 0.4, Mo – 0.002, As – 0.03, Bi – 0.005, nnn – 5.45 [22, 23].

Таким образом, хвосты обогащения шеелитовых руд в хвостохранилищах ОАО «Приморский ГОК» и Лермонтовской горнорудной компании следует рассматривать в качестве перспективной минеральной базы техногенного сырья на вольфрам, медь и серу.

В структуру ОАО «ГМК Дальполиметалл» входят рудники Николаевский, Второй Советский, Южный, Верхний, Королевский, Центральная обогатительная фабрика и свинцовый передельный завод

(в последние годы его работа приостановлена). Минерально-сырьевую базу предприятия составляют Николаевское, Партизанское, Верхнее, Лидовское, Южное полиметаллические месторождения. Руды по составу геденбергит-сульфидные, аксинит-гранат-геденбергит-сульфидные, сульфидные. На месторождениях Верхнее, Светлый Отвод и Лидовское присутствуют окисленные руды.

Центральная обогатительная фабрика (ЦОФ) в г. Дальнегорске выпускает свинцовый и цинковый концентраты. Извлечение свинца и цинка в одноименные концентраты составляет на ЦОФ 94 % и 92.92 %, извлечение из свинцового концентрата в конечную продукцию на свинцовом заводе достигало по свинцу – 94.09 %, по серебру – 98.31 %, по висмуту – 90.97 %, а по меди – всего лишь 5.3 % [26].

Из числа попутных компонентов наибольшее промышленное значение имеет Ag, средние содержания которого в промышленных запасах полиметаллических руд колеблется от 35.7 г/т (Лидовское месторождение) до 307 г/т (Южное месторождение). Извлечение Ag в свинцовый концентрат на ЦОФ составляло до 74.62 %, в цинковый концентрат – 15.92 %, на КОФ извлечение – соответственно 74.11 % и 4.73 %. На Верхнем, Партизанском и Смирновском месторождениях серебро присутствует в виде микровключений самородного серебра и сульфоселей серебра в галените. На Южном и Николаевском месторождениях, кроме того, распространены собственно серебряные минералы: фрейбергит, пираргерит, фрейслебенит, дискрозит, аргентит. Серебро здесь наряду со свинцом и цинком являются основными добываемыми металлами. Из числа других попутных металлов балансом запасов на Смирновском и Южном месторождениях учтено олово (содержания 0.3–2 %). Кроме того в рудах практически всех разрабатываемых месторождений содержатся: висмут (0.003–0.014 %), кадмий (0.016–0.065 %), медь (0.1–0.71 %, индий (0.0006–0.007 %), сера (3.09–16.8 %).

Преобладающая часть твердых отходов ДОФ сконцентрирована в 7 хвостохранилищах, из них только 5 доступны для изучения (2 от Краснореченской обогатительной фабрики (КОФ) и 3 от ЦОФ), остальные погребены и забетонированы в углублениях долины р. Рудной. Ввиду высокого извлечения из рудных тел остаточное количество свинца в хвостах ЦОФ составляет 0.09 %, цинка – 0.12 %, в хвостах КОФ – соответственно 0.09 % и 0.6 %. Прочие металлы извлекались из руд Дальнегорской группы месторождений далеко не в полном объеме или не извлекались совсем и сбрасывались в хвостохранилища.

Хвосты КОФ (предприятие длительное время не эксплуатируется) использовались для вторичной

переработки на цинковый концентрат, однако получаемый продукт был некачественным, вместо 35 % содержал всего лишь 10 % Zn. Хвосты старого хвостохранилища ЦОФ использовались для закладки выработанного пространства на Николаевском руднике.

В работе [26] приведено сравнение содержаний фазового состава свинца и цинка в старых и новых хвостохранилищах КОФ и ДОФ, выполненное на минералогическом уровне, основные результаты которого представлены в табл. 6. Отмечается снижение содержаний сульфидной и рост сульфатной минеральных форм в старых хвостохранилищах по сравнению с новыми, особенно показательно для хвостов обогащения КОФ. Соотношение между окисленной и сульфидной фазами серы свидетельствует о преобладании в новых хвостохранилищах КОФ и ЦОФ руд сульфидного состава над окисленным, тогда как для старых хвостохранилищ характерно преобладание окисленной фазы серы. Различие между старым и новым хвостохранилищами КОФ обусловлено разными физико-химическими условиями (рН, Eh); так для старых хвостохранилищ характерна кислая реакция среды (рН = 1.86–2.0), для новых – щелочная (рН = 10.16–11.9); соответственно в новых хвостохранилищах отмечается более низкая степень гипергенных преобразований (окисления), по сравнению со старыми [26].

Анализируя таблицу 6, можно полагать, что процесс перевода сульфидных минералов в окисленные формы будет продолжаться достаточно долго (150–200 лет), следовательно, все это время хвостохранилища будут представлять собой активные источники загрязнения. Период же полураспада (или удаление половины от начальной концентрации) составляет очень продолжительное время: для цинка – от 70 до 510 лет, для кадмия – от 13 до 110, для меди – от 310 до 1500 и для свинца – от 740 до 5900 лет [28, 29].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Особый интерес для горнопромышленного освоения рудных месторождений в Дальневосточном регионе представляют минеральные отходы обогатительных фабрик (хвостохранилища), в которых сосредоточены крупномасштабные комплексные техногенные месторождения широкого спектра ценных металлов. Техногенные месторождения, связанные с хвостохранилищами, более удобны для освоения, чем другие отвальные материалы, поскольку они достаточно компактно сосредоточены, более однородны по гранулометрическому составу и, чаще всего, представляют собой мелкозернистые фракционированные пески, которые уже подготовлены для дальнейшей технологической переработки и извлечения металлов,

Таблица 6. Фазовый состав свинца и цинка в хвостохранилищах Краснояреченского ГОКа (КОФ) и «Дальполиметалла» (ДОФ).

Хвостохранилища	Кол-во проб	Относительное содержание Pb в разных минеральных фазах (%)					Относительное содержание Zn в разных минер. типах (%)		
		Общее количество	Сульфидная	Сульфатная	Плюмбоярозитовая	Карбонатная	Сульфидный	Окисленный	Общий
КОФ -1	11	100	48	9	17	25	83	17	100
КОФ-2	6	100	31	27	37	7	90	10	100
ДОФ -1	4	100	59	2	0	39	85	15	100
ДОФ-2	13	100	39	5	4	53	67	33	100

а также для использования в строительных целях. Пожалуй, наиболее привлекательным обстоятельством является их расположение в старых горнопромышленных районах, с развитой промышленной и дорожной инфраструктурой в труднодоступной местности горного рельефа.

Минералого-геохимический состав и строение хвостохранилищ пока достоверно не изучены, однако, судя по отчетам ДВИМСа и другим исследованиям [5, 11, 14, 28, 32 и др.], установлено, что в водах р. Рудной, являющейся конечным приемником всех стоков с горнопромышленных объектов Дальнегорского комбината, обнаружены в аномально высоких концентрациях (кратные значения ПДК): медь – 359, кадмий – 260, бериллий – 18, железо – 15, цинк – 6, никель – 3. В 30–100 раз превышают фон концентрации свинца, в 290 раз – кобальта, в 470 раз – марганца. Не случайно, что в экологическом отношении по воде и донным илам р. Рудная является самой грязной рекой на юге Дальнего Востока [13, 28].

В таблице 7 представлена горно-экономическая характеристика техногенных месторождений, сформированных в 2-х десятках хвостохранилищ, расположенных в районе 7 работавших ГОКов в южной части Дальнего Востока. Вследствие низкого извлечения отдельных металлов (олово, вольфрам, медь, серебро, висмут и др.), хвосты обогащения содержат высокие концентрации этих металлов, что позволяет считать отдельные из них (табл. 7) промышленными техногенными месторождениями, с достаточно высокими суммарными запасами по отдельным металлам (тыс. т): меди – 167, цинка – 120, олова – 118, свинца – 67, мышьяка – 150). В таблице приведены в основном предполагаемые запасы полезных компонентов, извлекаемых в свое время с помощью традиционных технологий, без извлечения других ценных попутчиков, особенно РЭ и РЗЭ.

Предпринимались попытки извлечения редких металлов на Вознесенском редкометалльно-флюори-

товом месторождении (бывший Ярославский ГОК), разработано несколько эффективных схем их добычи, но до практики дело не дошло. В то же время высокие рыночные цены на скандий, рений, тербий, европий, диспрозий и другие РЗЭ, сопоставимые по ценам с серебром и некоторыми платиноидами, выводят их в конкурентную продукцию. Учитывая же опыт промышленно развитых стран, научно-техническая революция связана, прежде всего, с широким использованием редких и редкоземельных элементов.

Экологические проблемы, связанные с горными отходами. Интенсивно воздействующие на окружающую природную среду природно-экологические факторы, связанные с минерально-сырьевыми отходами, приводят к физико-механическому нарушению структуры и целостности экосистем, образованию провалов, сдвигов и мульдообразных проседаний в земной поверхности; к образованию депрессионных воронок, происходит иссушение почвенно-грунтового покрова, изменение уровня подземных вод и нарушение водоснабжения в селитебных районах, а также выход на поверхность метана и других вредных газов и т.д., что иногда приводит к катастрофическим последствиям. Однако наиболее вредным, охватывающим значительные территории, является техногенное химическое загрязнение природной среды, оказывающее токсическое воздействие на живые организмы и человека на широком пространстве суши и водной среды [7, 9, 12, 13].

Климатические особенности Дальневосточного региона с обилием летних атмосферных осадков (годовое количество около 850 мм) и резко выраженными окислительными процессами в поверхностной зоне приводят к трансформации гипогенных рудных сульфидов во вторичные минеральные формы с высокой растворимостью токсичных металлов, особенно из минералов класса сульфатов, с выщелачиванием токсичных катионов и выносом их дренажными растворами из хвостохранилищ в поверхностные водо-

Таблица 7. Горно-экономическая характеристика техногенных месторождений крупных ГОКов юга Дальнего Восточного региона [7].

Горнопромышленные предприятия, место дислокации	Хвосты ОФ: кол-во/ объем песков, млн т	Извлекаемые металлы, их содержание в хвостах, %	Запасы металлов в хвостах ОФ, тыс. т	Прогнозируемые запасы металлов
Кавалеровский рудный район (Приморский край)	<u>6</u> 48.9	Олово – 0.101–0.23 Медь – 0.05–0.18 Цинк – 0.05–0.27 Свинец – 0.01–0.089	Sn – 64.83 Cu – 19.46 Zn – 95.32 Pb – 32.4	Cd, As, Rb, Sr, La
«Дальполиметалл» (Приморский край)	<u>5</u> >100	Свинец, цинк, попутные – висмут, серебро, медь	Pb – 0.776 Zn – 1.268 Извлечение до 95 %	Sc, Te, Ga, Tl, In Ge. As, Sb, Ag
Химкомбинат «Бор» (Приморский край)	<u>2</u> >100	Бор	шлам-боро-гипс, мел – отход	Ca-B-S удобрения
Лермонтовская ГРК (Приморский край)	<u>1</u> 9.2	Окись W – 0.46 Медь – 0.18 (0.4) Окись P – 0.55 Олово – 0.05 Мышьяк – 0.15 Свинец – 0.05 Цинк – 0.05	WO ₃ – 42.32 Cu – 36.8 P ₂ O ₅ – 50.6 Sn – 4.6 As – 13.8 Pb – 4.6 Zn – 4.6	Au, Ag
«Дальолово», Солнечный ГОК (Хабаровский край)	<u>3</u> 36.0	Олово – 0.202 Медь – 0.46 Свинец – 0.123 Цинк – 0.094 Трехокись W – 0.04	Sn – 48.7 Cu – 110.8 Pb – 29.6 Zn – 22.5 WO ₃ – 14.4	Ag, In, Bi, Sb
Ярославский ГОК (Приморский край)	<u>2</u> 16.8	Флюорит – 14.3 Окись Be – 0.116 Окись Li – 0.59 Окись Rb – 0.32 Цезий – 0.015	CaF ₂ – 240.2 Be ₂ O – 1.95 Li ₂ O – 9.91 Rb ₂ O – 5.38 Cs – 0.253	TR
Хинганский ГОК (ЕАО)	<u>1</u> 3.95	Олово – < 0.1 Флюорит – ?	– –	TR, Au, Ag
Всего:	21	Суммарные запасы металлов в хвостохранилищах	Олово – 118.1 Мышьяк – 150.0 Цинк – 123.7 Свинец – 67.4 CaF ₂ – 240.2	
Хвостохранилищ	21			
Объем песков, млн т	330			

Примечание. Жирным шрифтом показаны основные металлы, обычным – металлы и элементы, содержащиеся в хвостах ОФ.

токи, подземные водные горизонты и, в целом, в аквальные ландшафты речных долин. Так, на основании исследований П.В. Елпатьевского [11] показано, что в типично кислой среде практически все металлы выщелачиваются и в виде насыщенных растворов выносятся в речную сеть (табл. 8).

Данные таблицы 8 показывают высокую окислительную способность дренажных вод (рН от 3.05 до 4.50) и аномальное содержание сульфат-ионов, которые при химической реакции в водонасыщенной среде образуют агрессивные сернокислотные растворы, способные преобразовывать многие рудные сульфиды, выщелачивать из них катионы и выносить в поверхностные водные системы. На примере

Ново-Монастырского и Солнечного месторождений выщелачиваемые металлы характеризуются высокой аномальностью (Cu, Zn, Cd, Fe, Al), а в отвалах Солнечного месторождения дополнительно – мышьяк. Дренажные растворы отвалов этих месторождений по концентрациям в них отдельных металлов могут рассматриваться как рудные растворы для получения меди, кадмия, цинка, мышьяка, серы и др. элементов [12, 17, 26, 30, 31]. Поэтому обилие сульфидов в рудах и рудовмещающих породах и формирующаяся на этой основе высокая кислотность водных растворов являются главными факторами выщелачивания и миграции химических токсикантов из хвостов ОФ. Дренажные подотвальные воды обладают значительно

Таблица 8. Химический состав вод (мг/л и мкг/л), дренирующих отвалы оловянно-полиметаллических сульфидных месторождений [11].

Места отбора проб	pH	SO ⁴	Cu	Pb	Cd	Zn	Fe	Mn	Al	As
1	4.15	615	134	109	58	20680	244	3150	20	< 2
2	3.05	4630	7380	134	960	543800	31360	35520	9030	< 2
3	4.50	н/д	7220	22	270	53300	44500	59700	128900	14

более высокой кислотностью и солевой концентрацией по сравнению с шахтными стоками и несут более высокую минерализацию.

Техногеохимическое влияние хвостохранилища на водные системы нами изучено в донных осадках рек Лев. Силинка и Силинка (Солнечный район) и сопоставлено с величинами их суммарной аномальности (суммы коэффициентов концентрации, Кк). Опробование донных осадков проведено по фиксированным точкам русла реки в 1990 и в 1996 гг.: в 1990 г. – при интенсивной работе 5 рудников и ОФ, в 2006 г. – после практически полного завершения работ ГОКа (рис. 3). Учитывая интенсивность работы ГОКа в 1990 г., когда на полную мощность работали 5 рудников, аномальный поток отмечался в интервале русла от 3-го по 30-й км долины р. Лев. Силинка – Силинка с суммарной контрастностью по основным металлам от 10 до 100 единиц. Результаты опробования в 2006 г. показали, что после закрытия или существенного сокращения горных работ в районе значение суммарной аномальности (Кк) не только не снизилось, но и возросло до 150–450 единиц, т.е. произошел рост величины аномальности в 3–4 раза, при увеличении длины аномального литохимического потока в русле р. Силинки в интервале от 3 до 44 км [7].

Таким образом, можно полагать, что основными крупными источниками техногенно-химического загрязнения водных потоков выступают отходы обогащательных фабрик, в которых происходит минералого-геохимическая трансформация с образованием сульфатов, которые легко выщелачиваются и выносятся с дренажными водами. Измельченные до песчаной фракции сульфидные минералы в гипергенных условиях окисляются, образуя различные купоросы [5, 21, 25] и, таким образом, трансформируются в легко растворимые минерально-солевые формы. Так что, вовлекая техногенные месторождения в освоение, попутно с ценными металлами, из них следует извлекать сульфидные минералы и содержащиеся в них примеси различных токсичных компонентов, от которых рано или поздно придется избавляться по экологическим соображениям.

Из представленного рисунка 3 можно заключить, что аномальный поток в донных осадках,

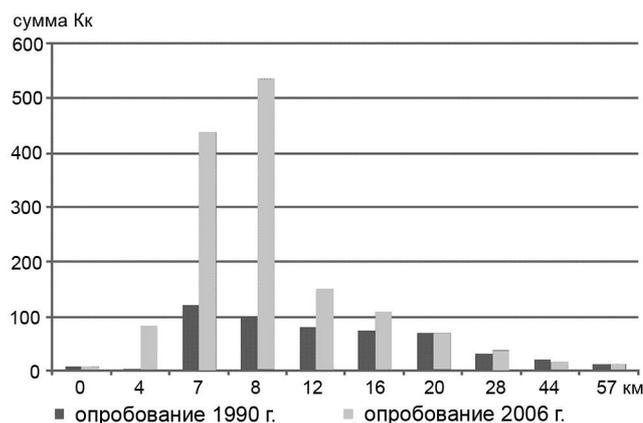


Рис. 3. Сопоставление интенсивности аномального потока в донных осадках р. Силинки в разные периоды опробования (Солнечный ГОК).

принимавший ранее технологические сбросы горного производства, после фактической остановки производства подвергается дополнительному пополнению химическими загрязнителями, со значительным ростом аномальности, в результате чего суммарные концентрации (Кк) по тем же элементам (Pb, Cu, Zn, As, Cd и Sb) в донных осадках р. Силинки увеличились более чем в 4 раза. По мнению авторов статьи [7], определяющий вклад в загрязнение донного потока внесли именно дренажные растворы из 3-х крупных хвостохранилищ, расположенных в долинной части р. Лев. Силинка на протяжении 10–12 км.

В конечную стадию разрушения сульфидов в зоне гипергенеза происходит образование большого количества гидроксидов железа, отлагающихся в виде ноздреватых агрегатов или метаморфоз по первичным минералам. В промежуточных стадиях отмечаются сульфаты Fe, Mg, Ca (мелантерит – FeSO₄·H₂O, феррагексагидрит – FeSO₄·6H₂O, роценит – FeSO₄, эпсомит – MgSO₄·7H₂O, CaSO₄·2H₂O) и других полиметаллов (англезит – PbCO₃, церуссит – PbCO₃, пюмбоярозит – PbFe₆(SO₄)₄(OH)₁₂). В зависимости от присутствия вмещающих карбонатных пород образуются смитсонит ZnCO₃, госларит ZnSO₄·7H₂O и др. [12, 24, 25].

Дальнейшая трансформация минералов в зоне гипергенеза, как и в хвостохранилищах, проходит стадии карбонатов–оксидов–гидроксидов. При этом наиболее устойчивыми к растворению являются минералы конечных стадий; максимальной же растворимостью и активной миграцией элементов, а следовательно и химическим загрязнением, характеризуются минералы переходной стадии – минералы группы сульфатов.

Поэтому накопленные отвальные материалы (отвалы окolorудных пород, хвосты обогащения и др.), даже несмотря на проводимую их рекультивацию, подвергаются активному выщелачиванию водами атмосферных осадков, насыщаются растворенными солями активных токсикантов и загрязняют открытые и подземные водные системы. С помощью опробования дренажного водного потока из хвостохранилища Солнечной ОФ выявлено, что через стационарный сток сбрасывается в р. Лев. Силинка свыше 5 м³/час (приблизительно 20 000 м³ в год) насыщенных растворов, содержащих химические загрязнители с концентрациями: марганца – 3.8 г/л, меди – 1.0 г/л, свинца – 0.34 г/л, олова – 0.1 г/л, цинка – 2.8 г/л, железа – 8.4 г/л, кадмия – 0.06 г/л и др., что составляет в сумме свыше 25 т высокотоксичных металлов за год [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Техногенные месторождения, приуроченные к крупным хвостохранилищам в отработанных горно-промышленных районах, представляют собой крупные комплексные техногенные месторождения полезных ископаемых, или новый источник минерального сырья, формирующийся в процессе современного горнопромышленного производства. Привлекательными особенностями для освоения описываемых техногенных месторождений является их комплексный состав, поверхностный характер залегания, расположение преимущественно в освоенных районах, раздробленность рудной массы и своеобразии минерального состава вторичных руд. Они могут служить крупным потенциальным источником различных полезных компонентов, в т.ч. цветных, благородных, редких и редкоземельных элементов. Необходимы дальнейшее их изучение, ревизия и сбор сведений для создания информационной базы данных, включающих совокупность учетных показателей и технико-экономическую оценку для принятия оптимальных решений по их освоению.

Особенно привлекательным является содержание в некоторых из них редких и редкоземельных элементов: лития, рубидия, цезия и других металлов, которые в настоящее время определяют научно-тех-

нический прогресс [26]. Сплавы на основе редких и редкоземельных металлов обладают сверхлегкими, кислото-термостойкими свойствами. Широкое использование редких и редкоземельных металлов в России позволит хотя бы исправить столь несуразное соотношение общего веса и полезного груза в автомобилях.

С другой стороны, химический состав и экологические особенности крупных хвостохранилищ в горнопромышленных районах с сульфидным типом оруденения позволяют относить их к категории наиболее опасных источников химического загрязнения поверхностных водотоков и подземных вод, негативное загрязнение которых может продолжаться сотни лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.А. Экологическая геохимия. М.: Логос, 2000. 627 с.
2. Бизнес-план на разработку Высокогорской оловосодержащей россыпи в Кавалеровском районе / С.Н. Савин, В.А. Безруков. Пос. Кавалерово, 2006. 120 с.
3. Богданов О.С. Переработка труднообогатимых руд (теория и практика). М.: Наука, 1987. 392 с.
4. Востоков Е.Н. Геометрия глобального экологического кризиса (в связи с освоением минерально-сырьевого потенциала Земли) / Е.Н. Востоков // Геоэкологические исследования и охрана недр: Науч.-техн. информ. сб. М.: Геоинформмарк, 1998. Вып. 2. С. 3–17.
5. Геоэкологическая систематизация отходов горнодобывающих предприятий юга Дальнего Востока: Отчет о НИР № 925. / В.И. Остапчук., Н.И. Грехнев. Хабаровск, 2001.
6. Гоневчук В.Г. Оловоносные системы Дальнего Востока: магматизм и рудогенез. Владивосток: Дальнаука, 2002. 297 с.
7. Грехнев Н.И. Техногенные месторождения в минеральных отходах Дальневосточного региона как новый источник минерального сырья / Н.И. Грехнев, И.Ю. Рассказов // Горный информ.-аналитический бюлл., Отдельный вып. Дальний Восток-1. 2009. № ОВ 4. С. 38–46.
8. Грехнев Н. И.. Геохимия техногенеза Дальнегорского горнопромышленного района южного Приморья России / Н.И. Грехнев, Э.Я. Жовинский // Мінерал. журн. (Україна). 2009. Т. 31, № 4. С. 85–90.
9. Грехнев Н.И. Региональные экономические и экологические проблемы, связанные с минеральными отходами горных производств / Н.И. Грехнев, В.И. Усиков // Регион. проблемы. 2011. Т. 14, № 1. С. 21–25.
10. Грехнев Н.И. Геохимическая трансформация гипогенных минералов в хвостохранилищах юга Дальнего Востока / Н.И. Грехнев. Пошукова та Екологічна геохімія. 2011. № 1 (11). С. 17–19.
11. Елпатьевский П.В. Металлоносность вод горнопромышленного техногенеза / П.В. Елпатьевский // Добыча золота. Проблемы и перспективы. Хабаровск, 1997. Т. 2. С. 326–332.
12. Зверева В.П. Экологические последствия гипергенных процессов на оловорудных месторождениях Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2008. 165 с.

13. Информационный отчет о результатах НИР по Приморскому полигону (договор 150-3 33 (590) за 1992 г. / В.И. Остапчук. Хабаровск, 1992.
14. Клубов С.В. Геоэкология, история, понятие, современное состояние / С.В. Клубов, Л.А. Прозоров. М.: НИИ Зарубежгеология, 1993. 208 с.
15. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья / К.Н. Трубецкой и др. М.: Наука, 2010. 437 с.
16. К организации Солнечного горнометаллургического комбината. Проект ТЭО / А.Е. Крейнис, А. Л. Высотин, Г.В. Корнев. Пос. Солнечный, 2003. 156 с.
17. Ломоносов И.С. Основные процессы техногенного рассеяния и концентрирования элементов и принципы их оценки // Геохимия техногенных процессов. М.: Наука, 1990. С. 26–59.
18. Макаров А.Б. Техногенные месторождения / А.Б. Макаров // Соровский образовательный журн. 2000. № 8. С. 76–80.
19. Маринов Б.Г. Характер загрязнения поверхностных и подземных вод в районе разработки редкометалльно-флюоритовых месторождений в Приморье / Б.Г. Маринов, О.Г. Голованов // Геологические исследования и охрана недр: Информ. сб. М., 1995. Вып. № 2. С. 53–61.
20. Меретуков М.А. Геотехнологические исследования для извлечения золота из минерального и техногенного сырья / М.А. Меретуков, В.В. Рудаков, М.Н. Злобин. М.: Горная книга, 2011. 438 с.
21. Методические рекомендации по крупномасштабному эколого-геохимическому изучению и картографированию горнорудных районов юга Дальнего Востока: Отчет о НИР / В.И. Остапчук, Н.И. Грехнев // Хабаровск, 1996. (Фонды ДВТГУ).
22. Мониторинг, контроль, управление качеством окружающей среды / А.М. Потапов, В.Н. Воробьева, Л.Н. Карлин, А.А. Музалевский и др. С-Пб., Т. 3. 2005. Интернет-ресурсы.
23. Отчет о геолого-разведочных работах ГРЭ Хрустальненского ГОКа / В.А. Безруков и др. пос. Кавалерово, 2002.
24. Результаты полупромышленных испытаний технологии обогащения вольфрамовых руд Лермонтовского месторождения Приморского края / А.Г. Колтун и др. Ингичка, 1978. (Фонды ДВИМСа).
25. Саматова Л.А. Кинетика флотации кальциевых минералов из шеелит-карбонатных руд / Л.А. Саматова. Е.Д. Шепета, С.А. Кондратьев // Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого сырья: Плаксинские чтения-2011: Материалы междунар. совещ. Верхняя Пышма, 19–24 сент. 2011 г. Екатеринбург: Форт-Диалог-Исета, 2011. С. 505–509.
26. Смирнов С.С. Зона окисления сульфидных месторождений. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1955. 330 с.
27. Солодов Н.А. Нетрадиционные типы редкометалльного минерального сырья. М.: Недра, 1991. 246 с.
28. Тарасенко И.А. Экологические последствия минералого-геохимических преобразований хвостов обогащения Sn-Ag-Pb- Zn руд (Приморье, Дальнегорский район) / И.А. Тарасенко, А.В. Зиньков. Владивосток: Дальнаука, 2001. 194 с.
29. Химическое загрязнение почв и их охрана. Словарь-справочник / Д.С. Орлов, М.С. Малинина, Г.В. Мотузова и др. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.
30. Чантурия В.А. Сорбционная технология извлечения меди из стоков горнорудных предприятий / В.А. Чантурия, В.Н. Калмыков, И.В. Шадрюнова и др. // Физико-химические проблемы разработки полезных ископаемых. 2004. № 6.
31. Чантурия В.А. Перспективы устойчивого развития горно-перерабатывающей индустрии России // Горн. журн. 2007. № 2. С. 2–9.
32. Чудаева А.В., Чудаев О.В. Особенности химического состава воды и взвесей рек Приморья (Дальний Восток) / Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 2. С. 102–119.
33. Hackett C. Environmental and Natural Resources Economics (theory, policy, and the sustainable society) / C. Hackett. C. Steven. New York, 2003.

Рекомендована к печати А.И. Ханчуком

I. U. Rasskazov, N.I. Grehnev, T.N. Alexandrova

Anthropogenic deposits inside dumps of ore-dressing and processing enterprises of the Far East region

Economic and environmental aspects of mineral waste material of mining in the southern part of the Far Eastern region are given in the article. Reject concentrated in huge tailing dumps are considered like large complex anthropogenic deposits containing considerable reserves of copper, tin, arsenic, lead, zinc, rare and noble metals. It was shown that anthropogenic deposits are basic and long-term sources of chemical pollution of environment, especially ones of surface watercourses and industrial horizons of underground water.

Key words: anthropogenic deposits, rare metals, mineral waste material, sour under-dump water, the Far East of Russia.