

УДК 504.03.054: 622

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С МИНЕРАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ ГОРНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Н.И. Грехнев, В.И. Усиков
Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск

Рассматриваются экономические и экологические проблемы хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов, которые представляют не только крупные техногенные месторождения основных и попутных металлов, но и мощные и долговременные источники химического загрязнения окружающей среды.

Разработка месторождений цветных и редких металлов и их обогащение сопровождается значительными экономическими издержками и нарушениями экологических норм по охране окружающей среды. Это объясняется тремя основными причинами:

- 1) отсталой технологией обогащения и накоплением огромных объемов горнопромышленных отходов в минерально-сырьевом комплексе;
- 2) низкой комплексностью извлечения попутных ценных металлов и компонентов;
- 3) отсутствием разнообразия производств по переработке минеральных отходов и их утилизации.

Вследствие этих причин в хвостохранилищах всех горно-обогатительных комбинатов (ГОКов) накапливаются огромные объемы минеральных отходов (хвостов обогащения) как пустых пород (песков), так и ценных металлов. В результате накопленные хвосты обогащения представляют собой комплексные техногенные месторождения со значительными запасами рудных и редких (редкоземельных) металлов и неметаллических полезных ископаемых, которые десятилетиями хранятся в горнопромышленных районах без дальнейшей переработки. Известно, что в развитых странах уровень использования отходов горнорудного производства составляет 60–65 %, что не только существенно увеличивает валовой доход предприятия, но и приводит к значительному снижению вредного техногенного влияния минеральных отходов на природную среду.

С этих позиций особое значение приобретает проблема дальнейшего изучения хвостохранилищ Дальневосточного региона с целью привлечь внимание недропользователей к освоению сосредоточенных в них техногенных месторождений с применением прогрессивных технологий извлечения и, следовательно, диверсификации производства по их промышленному использованию. При подготовке настоящей статьи использованы материалы научных исследований Дальневосточного института минерального сырья (ДВИМСа), Института горного дела ДВО РАН (ИГД ДВО РАН) и Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН (ИКАРП ДВО РАН), а также ряда горнодобывающих организаций, проводивших изучение горных объектов в промышленных районах Солнечного, Дальнегорского, Хру-

стальненского, Хинганского, Ярославского ГОКов по экономическому анализу и влиянию горных производств на экологическое состояние окружающей среды [1, 4, 5].

На горнодобывающих предприятиях Дальневосточного региона потери металлов при обогащении рудной массы составляют значительные величины: по олову и трехокиси вольфрама – около 30–50 %, по золоту рудному 6–11 %, по золоту россыпному 5–47 %, в некоторых районах потери тонкого и мелкого золота составляют около 40 % [3], по полиметаллам – до 30 % (месторождение Солнечное). Высокий процент минеральных отходов при извлечении основных металлов отрицательно сказывается на рентабельности горных производств, при этом прямые экономические потери, связанные с отсутствием комплексного извлечения других ценных компонентов попутчиков основного металла (ванадий, сурьма, золото, кобальт, индий, скандий и др.), как правило, велики и не всегда поддаются даже приблизительным оценкам. Например, изначальная стоимость основного продукта в недрах Хинганского оловорудного месторождения составляла лишь 57 % от валовой стоимости всех компонентов (в ценах 1998 г.), несмотря на то, что эксплуатируемое месторождение считалось практически монокомпонентным. В целом для месторождений Хингано-Олонойского района стоимость главного металла составляет 52 %, по отдельным объектам опускаясь до 18 % [10]. Использование научно-технических достижений способно улучшить ситуацию в горной промышленности. Например, наблюдается высокий процент (90 % и выше) извлечения золота из руд коренных месторождений с применением современных прогрессивных технологий выщелачивания цианидами.

Хвосты обогащения, сосредоточенные в десятках крупных хвостохранилищах в пределах горнопромышленных районов, рассматриваются нами с двух позиций: 1) как техногенные месторождения, содержащие повышенные концентрации основных металлов и попутных ценных компонентов, и 2) как источник реальной угрозы загрязнения окружающей среды (особенно водных систем) токсичными элементами (Pb, Zn, Cd, As, Bi, Hg и др.). Положительное решение задач первого направления позволяет существенно повысить экономические показатели работы ГОКов с переводом обогатительного

процесса на передовые технологии, чтобы значительно повысить полноту и комплексность извлечения ценных компонентов, включая сопутствующие металлы.

Примерами довольно крупных техногенных и комплексных месторождений, сосредоточенных в хвостохранилищах, являются минеральные отходы обогатительных фабрик Солнечного, Хинганского, Красногорского, Дальнегорского, Хрустальненского, Ярославского, Многовершинного и других ГОКов. Но поскольку утвержденные нормы содержания металлов в хвостах обогащения отсутствуют, для оценки объема руд в них следует ориентироваться на среднеотраслевые показатели. При достаточно высоких концентрациях благородных, редких, редкоземельных и других дефицитных металлов в хвостохранилищах возможность освоения таких месторождений, как и необходимость сохранения от дальнейшего разубоживания, требует всестороннего рассмотрения и обоснования.

Основным препятствием к рекомендации по промышленному освоению техногенных месторождений, на наш взгляд, является наличие в них токсичных элементов (As, Cd, Pb, Zn, Sb, Bi, Hg и др.). Для региона это особенно важно, так как подавляющее большинство металлических месторождений Тихоокеанского рудного пояса относятся к ряду формаций, несущих значительную сульфидную минерализацию, поэтому промышленные от-

ходы практически всех ГОКов содержат токсичные элементы. Поэтому освоение таких месторождений (по конкретным объектам) возможно только при согласовании с местными органами санитарного надзора.

В Дальневосточном регионе в результате сравнительно короткой истории горнодобывающей промышленности в отвалах горных предприятий накоплено более 5 млрд. тонн твердых отходов, в том числе более 290 млн. т – в хвостах обогащения (табл. 1). Количество их постоянно растет в связи с вовлечением в разработку более бедных руд. Основной же причиной значительного накопления хвостов обогащения и содержащихся в них полезных компонентов связано с использованием в обогатительном производстве отсталых технологий переработки рудной массы и извлечение металлов традиционными способами, основанными на применении комбинированных схем гравитационно-флотационного обогащения с получением промышленного концентрата.

В настоящее время промышленность диктует новые требования к качеству минерального сырья. Поскольку известные месторождения полезных ископаемых обедняются и истощаются, постепенно снижаются и кондиции на сырье. Содержания полезных компонентов в хвостах приближаются к минимально промышленным значениям. Эти обстоятельства, несомненно, должно повысить интерес к разработке техногенных месторождений

Т а б л и ц а 1

Горно-экономическая и экологическая характеристика хвостохранилищ наиболее крупных горных предприятий южной части Дальнего Востока России

Горнопромышленные предприятия, место расположения	Количество хвостохранилищ / их объемы (млн. т)	Площадные размеры, тыс. га	Главные металлы и спутники. Запасы (млн. т) и содержания полезных металлов, (%)
Кавалеровский район (Приморский край)	6 / 8,6	7,6	Олово – 47,37 (С – 0,18); медь – 19,46 (С – 0,11); свинец – 32,4 (0,05); цинк – 95,2, (0,12); (а также – Ag, Au, Rb, Cs)
«Дальполиметалл» (Приморский край)	5 / > 100	7,0	Свинец цинк, серебро, висмут, (также – As, Cd, Cu, Co)
Химкомбинат «БОР» (Приморье)	2 / > 100	100,0	Бор (а также – Zn, Pb и др.)
Лермонтовская ГРК (Приморский край)	2 / 9,2	15,2	Вольфрам, цинк, медь, свинец, кадмий
Солнечный ГОК (Хабаровский край)	3 / 30,0	1,5	Олово, медь, вольфрам, свинец, (Bi, Sb, As, Au и TR)
Ярославский ГОК (Приморский край)	3 / 16,8	2,94	Флюорит – 2401 (С – 14,31); Be ₂ O – 19,5 (0,116); Li ₂ O – 99,44 (0,59); Rb ₂ O – 53,2 (0,32); Cs – 2,5 (0,015)
Хинганский ГОК (Еврейская автономная область)	2 / 3,95	0,54	Олово, фтор, серебро, индий
«Многовершинный ГОК» Хабаровский край)	1 / > 15,0	0,65	Золото, серебро (25 – 50 г/т)
Рудник «Покровский» (Амурская область)	1 / 2,3 (?)	0,102	Золто, серебро (>50 г/т)
Всего	25 / 292	135,532	-

Примечание: жирным шрифтом указаны основные добываемые металлы

для получения цветных, благородных, редких и других металлов, так как суммарные объемы металлов и других полезных компонентов в отходах, накопленных в хвостохранилищах за время работы горных предприятий, существенно превышает их количество в осваиваемых в настоящее время месторождениях (табл. 1). В Дальневосточном регионе особый интерес для горнодобывающего производства представляют минеральные отходы обогатительных фабрик, которые являются комплексными техногенными месторождениями. Хвостохранилища более удобны для освоения и утилизации содержащихся в них материалов, так как последние более однородны по механическому составу, часто представляют собой фракционированные пески. Такие пески наиболее перспективны не только для извлечения ценного минерального сырья, но и для использования их в строительных целях.

Привлекательными для разработки техногенные месторождения являются по следующим причинам: 1) расположение их преимущественно в промышленно освоенных районах, 2) нахождение руд в поверхностной зоне и раздробленность рудной массы. К разряду отрицательных качеств можно отнести лишь присутствие в них вторичных минеральных форм, замещающих гипогенные минералы в зоне гипергенеза.

Помимо перечисленных основных металлов, в рудах и минеральных отходах практически всех дальневосточных рудных месторождений присутствуют индий, кадмий, скандий в концентрациях от первых единиц до 50–100 г/т, а также золото, серебро и платиноиды. Содержание благородных металлов в хвостах обогащения и возможности их извлечения пока детально не изучены, хотя известно присутствие Au и Ag в рудах Кавалеровского (Приморье), Хинганского и Фестивального (Хабаровский край) месторождений, где их содержание составляет от 0,1 до 50 г/т [2, 9]. В настоящее время при существующих технологических схемах их извлечение на действующих обогатительных фабриках крайне низкое (не более 5–10%).

В большинстве случаев объекты изучены недостаточно или их опробование (например, хвосты обогащения Хинганского ГОКа) проведено только с поверхности. В них отмечены знаки золота и минералы, содержащие металлы редкоземельной группы. С глубиной реально ожидать увеличение их концентрации, так на отвалах золотодобычи, на глубине 3 м содержание золота увеличивается в 1,5 раза [10].

Исследования ИКАРП и ИГД ДВО РАН показали что, тонкие фракции из хвостов Хинганского ГОКа (менее 0,07 мм) содержат высокие концентрации олова (до 50 %) и других тяжелых минералов.

Перспективными техногенными объектами в Солнечном районе, являются 3 крупных хвостохранилища, сформированные Центральной и Солнечной обогатительными фабриками при обогащении руд 5 месторождений. Запасы отвалных песков и содержащихся в них основных и попутных компонентов, согласно учету геолого-маркшейдерской службы комбината по состоянию на 01.01.2002 г. по этим хвостохранилищам, приводится в табл. 2 [6, 7].

Т а б л и ц а 2

Суммарные запасы ценных металлов и песков в хвостохранилищах Солнечного ГОКа

Полезные компоненты	Содержание в хвостах, %	Запасы, тыс. т.
Пески	-	36,6 млн. куб. м, фракция – 1-0,015 мм
Олово	0,202	48,7
Медь	0,460	110
Цинк	0,094	39,4
Свинец	0,123	29,6
Вольфрам	0,045	9,6
Висмут	0,03	5,8
Серебро	115,8 г/т	0,340

Работами сотрудников ЦНИИ Олово при проведении геометризации технологических разновидностей отвальных продуктов на хвостохранилище Солнечной ОФ проанализированы две технологические пробы, сформированные из 70 пробуренных скважин в пределах хвостохранилища. В них основной оловоносный минерал – касситерит на 75 и 73 % соответственно находится в свободном состоянии и теоретически может быть извлечен в промышленные концентраты. При обогащении данных проб по комбинированной схеме с выделением гравитационного, флотационного концентратов и сульфидного продукта извлечение в промышленные концентраты составило 49,6 и 50,7 % [6]. Результаты опробования показали, что содержание олова, трехоксида вольфрама, висмута, свинца и серебра в хвостах (по сравнению с предыдущими расчетными данными ГОКа) оказалось существенно более высоким, также установлена возможность получения из сульфидных продуктов доводки комплексного оловянно-свинцово-цинкового и серебро-висмут-кадмий-содержащего продукта, пригодных для металлургической переработки.

В целом же, каждое из хвостохранилищ Солнечного ГОКа является достаточно крупным комплексным техногенным месторождением, которые должны, по нашему мнению, представлять промышленный интерес для недропользователей.

Как видно из приведенной табл. 2, помимо гигантских объемов фракционированных песков в хвостохранилищах содержатся значительные запасы ценных металлов, таких как медь, олово, свинец, вольфрам, серебро и др., что позволяет оценивать их как крупные комплексные техногенные месторождения.

Решение второй проблемы связано с экологическим оздоровлением окружающей среды в пределах горно-промышленных районов, она заключается в изоляции содержащихся в хвостохранилищах минеральных отходов от поверхностных агентов выветривания и химического разложения первичных рудных минералов. Имеющиеся фактические данные показывают, что накопление токсичных элементов и их солей в грунтовых и поверхностных водах происходит не столько за счет шахтных вод, сколько вследствие химически насыщенных водных ра-

створов, формирующихся при дренировании хвостохранилищ.

Процессы разложения рудных минералов в хвостохранилищах усиливаются благодаря воздействию воды и растворенных в ней газов (O_2 , HCO_3 , SO_3 и др.). Экспериментальные исследования по изучению минеральных форм в различных хвостохранилищах Приморья показывают, что наиболее интенсивно процесс окисления сульфидных минералов (начальная стадия изменения) протекает в рудах, содержащих сульфиды от 5 до 35–40 %, среди которых преобладают пирит, пирротин, марказит, сфалерит, галенит, арсенопирит и др. [5, 8].

Общая схема трансформации минеральных классов выглядит следующим образом: сульфаты – карбонаты – окислы – гидроокислы. При этом максимальной растворимостью обладает минеральная (переходная) стадия сульфатов, а наиболее устойчивыми к растворению в зоне гипергенеза являются минералы конечных стадий. Сульфатная фаза большинства металлов является стадией активного растворения и миграции в кислых растворах ($pH < 6$) и уменьшается с понижением кислотности. Весьма показательным разделением в водных потоках свинца и цинка, обусловленное различной растворимостью их сульфатов. Аналогичное разделение происходит между медью и железом (при разложении халькопирита), где сульфат меди хорошо растворим, тогда как сульфат железа легко гидролизует с образованием устойчивых солей гидратов железа. Наиболее же устойчивыми к растворению в гипергенных условиях являются минеральные формы конечных стадий геохимической трансформации сульфидов. Максимальной растворимостью, превышающей растворимость первичных минералов в сотни и тысячи раз, обладают минералы переходной стадии группы сульфатов. Последнее обстоятельство имеет весьма важное значение для экологической характеристики водных систем, так как показатель растворимости элемента и способность миграции в растворах в основном и определяет экологическое состояние гидросети в горнопромышленных районах.

О масштабах растворения и выноса тяжелых металлов (ТМ) можно судить по одному из хвостохранилищ Солнечного ГОКа, которое за счет циркуляции атмосферных вод сбрасывается в водоток р. Лев. Силинка свыше 50 м^3 в сутки (приблизительно 20 тыс. м^3 в год) вод, несущих аномально высокие концентрации: марганца – $3,8 \text{ мг/л}$, меди – $1,0 \text{ мг/л}$, свинца – $0,34 \text{ мг/л}$, олова – $0,1 \text{ мг/л}$, цинка – $2,8 \text{ мг/л}$, железа – $8,4 \text{ мг/л}$, кадмия – $0,06 \text{ мг/л}$, мышьяка и других химических загрязнителей. Среднегодовая концентрация ТМ в р. Лев. Силинка ниже впадения дренажного потока из хвостохранилища превышает фоновые уровни по меди в 5,5 раза, по цинку – в 2,2 раза, по свинцу – в 1,3 раза [1]. Далее, вниз по течению, наблюдается снижение содержаний ТМ, наибольшее же загрязнение при этом отмечается на участке реки между пос. Горный и Солнечный. В целом же рр. Силинка и Холдами относятся к наиболее загрязненным водотокам Хабаровского края, которые по степени загрязнения относятся к VI–VII классам. К устью, у г. Комсомольск–на–Аму-

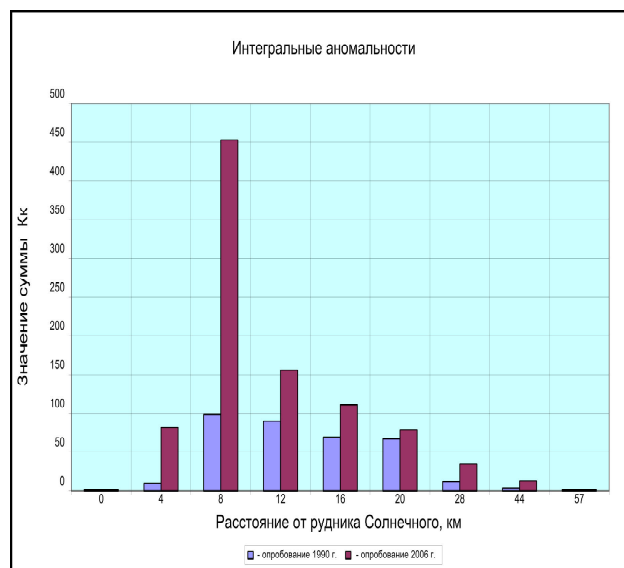


Рис. Сопоставление интегральных аномальностей техногенного потока разных лет в донных осадках р. Силинка

ре, вода р. Силинка приобретает умеренный характер загрязнения, но не опускается ниже III–IV класса (рис.).

Рисунок иллюстрирует суммарное загрязнение воды р. Силинка всеми перечисленными токсичными элементами. Поскольку и фоновые содержания и ПДК этих элементов-загрязнителей варьируют в широких пределах, оно оценивается по показателю интегральной аномальности, который рассчитывается как сумма коэффициентов концентрации (K_k) – отношений измеренных содержаний к их фоновым значениям.

Максимальное загрязнение, как и следовало ожидать, наблюдается на сливе хвостохранилища ключа Долгий, расположенного на 8-м километре от Солнечного рудника.

Помимо водных систем, существенному химическому загрязнению подвергаются почвы, выполняющие роль базового субстрата экосистемы. Спектр элементов-загрязнителей сопоставим с таковым в донных осадках. Максимальных концентраций в почвах, прилегающих к месторождению Солнечный, достигают элементы As, Sn, Sb, Cd, Zn, Bi и др. Ранжированный по коэффициентам концентрации геохимический ряд имеет следующий вид: $40As, Sb-30W-17Sn-10Pb, Cd-5-8Cu, Ag, Bi$. Площадные размеры аномальных ореолов в горных ландшафтах незначительны, однако их наложение на почвы долинных ландшафтов существенно расширяет ореолы загрязнения.

Технологический и технический аспекты обогащения руд отражают возможность полноты и комплексности извлечения полезных компонентов, что приводит к снижению объемов минеральных отходов и, следовательно, к уменьшению вредных воздействий на природную среду. Технический уровень, в свою очередь, увязывается с состоянием и развитием научно-технического прогресса, который обеспечивает:

– повышение эффективности и экологизации технологий освоения рудных месторождений;

– совершенствование технологии в эколого-экономическом плане, внедрение малоотходных и безотходных технологий, позволяющих повышать комплексность и полноту извлечения полезных компонентов, снижать отходоёмкость производства;

– повышение экономической ценности минерального сырья, создание и использование экологически безопасных материалов;

– повышение качества и экологической чистоты выпускаемой продукции.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бакшеева Л.К. и др. Изучить природные и техногенные потоки рассеяния тяжелых металлов в водах рудников Солнечного ГОКа. Отчет по теме. Фонды ДВИМСа. Хабаровск, 1991.
2. Безруков В.А. Запасы олова и попутных компонентов в хвостохранилищах Хрустальненского ГОКа (Приморье). Состояние на 1.01.2004 г. Отчетный материал, фонды ПГО, 2002.
3. Буряк В.А., Журнист В.И., Кузин А.А. Золото Еврейской автономной области (геолого-промышленные типы месторождений, перспективы, проблемы освоения). Биробиджан–Хабаровск: ИКАРП ДВО РАН, 2002. 123 с.
4. Грехнев Н.И. Тяжелые металлы в экосистемах юга Дальнего Востока // Добыча золота. Проблемы и перспективы: сб. докл. научно-практич. семинара, Хабаровск, 25–27 ноября 1997 г. Хабаровск, 1997. С. 291–300.
5. Грехнев Н.И. Эколого-геохимические аспекты оценки техногенного загрязнения геосистем горнорудных районов юга Дальнего Востока // Влияние процессов горного производства на объекты природной среды. Владивосток: Дальнаука, 1998. С. 32–45.
6. Бакулин Ю.И., Галичанин Е.Н., Буряк В.А. и др. Основные проблемы изучения и добычи минерального сырья Дальневосточного экономического района. Минерально-сырьевой комплекс ДВЭР на рубеже веков. Хабаровск, 1999. 214 с.
7. Крейнес А.Е., Высотин А.Л., Корнев Г.В. ПРОЕКТ организации Солнечного ГМК. Опробование хвостохранилища ЦОФ и разработка технологий переработки (предварительные расчеты). Пос. Солнечный, Хабаровский край, 2003.
8. Тарасенко И.А., Зиньков А.В. Экологические последствия минералого-геохимических преобразований хвостов обогащения Sn–Ag–Pb–Zn руд. (Приморье, Дальнегорский район). Владивосток: Дальнаука, 2001. 194 с.
9. Усиков В.И. Золото в оловорудных объектах Малого Хингана // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2008. №4. С. 76–81.
10. Усиков В.И. Минеральные ресурсы Еврейской автономной области. Опыт их освоения, проблемы, перспективы. Владивосток: Дальнаука, 2006. 144 с.

In the article it is considered economic and environmental problems of the tailing dumps of ore mining and processing enterprises, which appear to be not only large deposits of basic and passing metals, but also powerful and long-term sources of chemical pollution.