

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ В ПРИГОТОВЛЕНИИ ТВЕРДЕЮЩИХ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Владимир Иванович Голик<sup>1</sup>,  
v.i.golik@mail.ru  
Юрий Витальевич Дмитрак<sup>1</sup>,  
Чжун Чан<sup>2</sup>  
Станислав Александрович Масленников<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет) Россия, Владикавказ  
<sup>2</sup>Китайский геологический университет Китай, Пекин  
<sup>3</sup>Донской государственный технический университет, ИСОиП Россия, Ростовская обл., Шахты

**Актуальность** работы обусловлена необходимостью повышения полноты использования извлекаемого из недр металлического минерального сырья и комплексности его использования путем увеличения области применения новых природоохранных и ресурсосберегающих технологий, использующих малоисследованные резервы производства.

**Цель** работы: обоснование технологической возможности и целесообразности использования отходов обогатительного и металлургического производств для изготовления твердеющих закладочных смесей с повышением их активности в активаторах типа «дезинтегратор» одновременно с извлечением остаточных металлов.

**Методология** исследования: анализ теории и передового опыта, промышленный и лабораторный эксперимент, интерпретация результатов исследований.

**Результаты.** Природо- и ресурсосберегающие тенденции развития горнодобывающих отраслей реализуются в условиях, когда в перспективе многих горнодобывающих предприятий России наметилась тенденция перехода к подземной разработке рудных месторождений с использованием камерных вариантов технологии с заполнением технологических пустот твердеющими смесями. Сформулирована проблема обеспечения горных работ сырьем для изготовления твердеющих смесей, добыча которого открытым способом в связи с разрушением земной поверхности экологически некорректна. Показано, что решение проблемы обеспечения сырьем для приготовления твердеющих смесей в виде хвостов обогащения и металлургии связано с необходимостью извлечения из них редких и благородных металлов. Приведены результаты промышленного эксперимента использования механохимической активации металлосодержащего некондиционного сырья, позволяющей извлекать металлы и повышать активность хвостов до состояния, когда они проявляют вяжущие свойства. Описаны направления совершенствования активаторов для достижения целей механохимической технологии.

**Заключение.** Предлагаемая технология является реальной возможностью решать проблемы обеспечения сырьевой базы и облегчения нагрузки на окружающую природную среду. Горно-геологические условия и тенденции природосбережения делают предпочтительными варианты технологий с заполнением технологических пустот твердеющими смесями. Перспективным направлением утилизации металлосодержащего некондиционного сырья, позволяющим не только извлечь металлы, но и повысить активность хвостов, является механохимическая активация процессов выщелачивания в дезинтеграторе.

**Ключевые слова:** металл; минеральное сырье; отходы переработки; бетонная смесь; дезинтегратор; механохимическая активация; вяжущие свойства.

**Введение**  
На современной стадии развития горного производства увеличивается актуальность проблем полноты извлечения сырья из недр и комплексности его использования. Объективными критериями полноты использования недр являются потери и разубоживание руд, а результирующим критерием – извлечение металлов на заключительном этапе перед отправкой потребителю. Эколого-экономическая эффективность горнопромышленного комплекса характеризуется материальными, энергетическими и прочими затратами на производство продукции при условии сохранения земной поверхности и природных экосистем.

Приобретает права гражданства положение, что при определении прибыли от добычи полезных ископаемых должны учитываться и те ресурсы, которые не извлечены из недр, или же извлечены, но оказались неиспользованными.

Предметом исследований становится поиск неиспользуемых ресурсов совершенствования горного производства, в том числе нетрадиционные технологии добычи и переработки минерального сырья [1–2].

Темой многих исследований последнего времени становится поиск возможности объединения нередко противоборствующих направлений в развитии горного производства: ускорение темпов и увеличение объемов добычи руд из недр и сохранение экологии на земной поверхности. Такое противостояние объясняется отставанием возможностей переработки руд от возможностей их добычи, свидетельством чего является непрерывное увеличение объемов переработки руд.

Целью настоящей работы является обоснование возможности увеличения диапазона природо- и ресурсосберегающих технологий разработки с закладкой техногенных пустот твердеющими смесями, изготовленными на основе утилизируемых хвостов переработки руд. Отличительной особенностью исследования является экспериментальное доказательство возможности извлечения металлов из хвостов обогащения выщелачиванием в активаторе, что позволяет использовать конечный продукт переработки без ограничений по санитарным условиям.

Методология исследований подобного рода включает в себя анализ проблемы и опыта применения технологических решений в практике развитых предприятий, экспериментальные исследования и выдачу обоснованных рекомендаций по использованию в практической хозяйственной деятельности горных предприятий.

## Результаты

Текущая обеспеченность базовых отраслей экономики России разведанными запасами рудных полезных ископаемых представляется удовлетворительной. В то же время наметились или обострились проблемы МСБ цветных металлов. Не обеспечен собственным сырьем ряд медеплавильных заводов Урала: Красноуральский, Среднеуральский, Карабашский, Медногорский. В сложном положении находятся металлургические комбинаты «Печенганикель» и «Североникель».

Без достаточной сырьевой базы работают свинцово-цинковые рудники Читинской области, Приморья и Северного Кавказа, оловянные – в Хабаровском и Приморском краях, вольфрамовые – в Приморском крае.

Среди прочих руд выделяют химически вскрываемые руды цветных металлов, которые перерабатываются гидро-металлургическими методами: меди, золота, цинка и др.

К настоящему времени большинство запасов рудных месторождений не может извлекаться открытым способом не только по экономическим соображениям, но еще и потому, что они вступают в конфликт с обеспечением жизненных условий для живого вещества. Поэтому горным предприятиям предстоит освоение технологий разработки месторождений подземным способом [3–6]. Большинство научных работ в области повышения эффективности разработки месторождений полезных ископаемых посвящены проблеме обеспечения предприятий сырьем для изготовления закладочных твердеющих смесей [7–8].

Очевидно, что таким сырьем могут быть накопленные запасы хвостов переработки руд, но препятствием для их использования является наличие в них металлов. Современная практика свидетельствует, что прогресс техники позволит извлекать теряемые ныне металлы, ценность которых может превышать стоимость извлеченных металлов.

Доля неизвлеченных компонентов в хвостах обогащения руд цветных металлов составляет в средних и максимальных значениях, %: олова – 35 и 58; вольфрама – 30 и 50; цинка – 26 и 47; свинца – 23 и 39; молибдена – 19 и 53; меди – 13 и 36; никеля – 10 и 25. Показатель извлечения основных элементов в цветной металлургии России составляет 65–78 %, а попутных элементов – от 10 до 30 %. Извлечение Mo, Cd, Sb, Se, Te, Re колеблется в достаточно широком диапазоне значений. Практически полностью остаются в хвостах флотации In, Ga, Tl, Bi, Hg.

В медной подотрасли Урала накоплено 220 млн т хвостов обогащения, в которых содержание меди (0,34–0,37 %) близко к кондиционному (0,35–0,5 %). Наибольшую ценность в хвостах обогащения уральских руд представляют сера (30–50 % общей стоимости хвостов), драгоценные металлы (25–45 %), медь (10–20 %) и цинк (10–15 %).

Хвосты обогащения медно-никелевых руд Норильского рудного узла содержат промышленные даже для современных технологий переработки концентрации платиноидов, золота и серебра.

При обогащении вольфрамо-молибденовых руд не извлекаются до 60 % меди, до 81 % висмута, до 62 % тантала, золото, серебро и другие элементы. На Тырныаузском комбинате кондиционными считались руды с содержанием 0,1 %  $WO_3$ . На долю кондиционных руд приходилось всего 14 % добытой горной массы. В этих рудах содержится лишь 34,6 % полезного компонента. Некондиционные руды 86,5 % добытой горной массы уходят в отвал, унося 65,4 % металла. Отвалы некондиционной руды представляют собой техногенные месторождения, пригодные для отработки с меньшими затратами, чем месторождения коренных руд.

В отходах медной, свинцово-цинковой, никель-кобальтовой, вольфрамо-молибденовой, оловянной, алюминиевой подотраслей промышленности содержится более 8,0 млн т меди, 9,0 млн т цинка, 1,0 млн т свинца, 2,5 млн т никеля, 33,5 млн т  $Al_2O_3$ , 600 тыс. т олова, 200 тыс. т молибдена, около 1 тыс. т золота и 12 тыс. т серебра. Резервы полезных компонентов в хвостах переработки равноценны результату эксплуатации многих новых месторождений.

К наиболее крупным техногенным месторождениям относятся хвосты обогащения Гайского, Норильского, Салаирского, Учалинского и Солнечного ГОКов; шлаки металлургических заводов – Среднеуральского, «Электроцинк», «Пенчеганикель», «Североникель»; некондиционные руды Гайского, Сибайского и других ГОКов Урала.

Суммарная ценность металлов в хвостах обогащения сопоставима с ценностью потенциальных ресурсов минерального сырья в недрах и более чем в 4 раза превышает ценность идентифицированных ресурсов недр, которые пока не используются.

За рубежом из отходов первичной переработки с помощью нетрадиционных технологий получают более 40 % годового объема меди, 35 % золота и значительную долю других металлов.

В России ежегодно образуется от 2,5 до 4,8 млрд т отходов добычи и обогащения, а в отвалах и хранилищах горнодобывающей отрасли страны накоплено 1 млрд т твердых отходов. Накопленные отходы представляют собой ресурсную ценность: среднее содержание меди в хвостохранилищах составляет 0,37 %, цинка – 0,39 %, серы – 21,9 %, что нередко выше бортового их содержания на вовлекаемых в разработку месторождениях. Так, в Свердловской области утилизировано  $26,2 \cdot 10^6$  т отходов добычи и обогащения в рамках реализации продукции.

Наиболее распространенный метод очистки хвостов переработки от металлов и солей заключается в переводе их в твердую фазу и разделении жидкой и твердой фаз с утилизацией образующегося осадка [9–10].

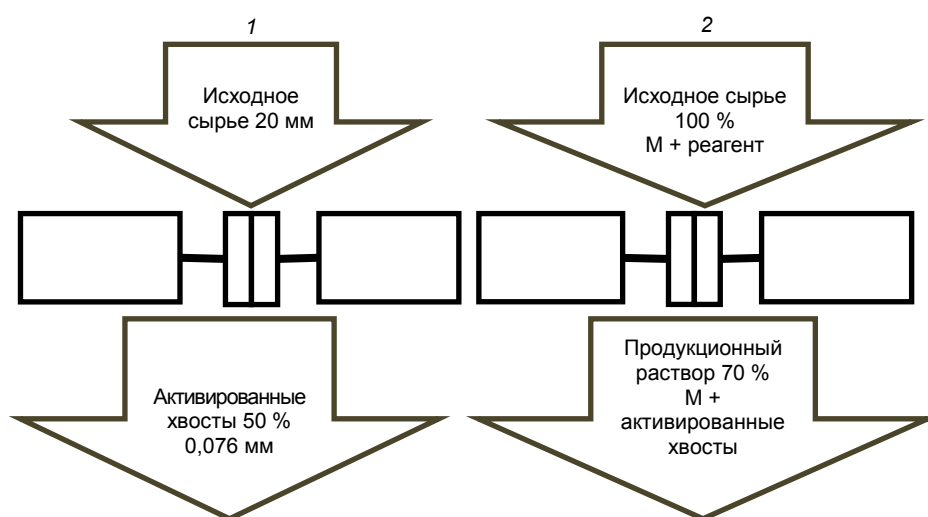
Например, этот принцип лежит в основе электрохимической технологии с изменением свойств раствора под влиянием электрического поля в диафрагменных электролизерах с использованием селективных мембран. Под действием электрического поля из камер обессоливания ионы  $Na^+$  и  $SO_4^{2-}$  переходят в камеры образования щелочи и кислоты, где соединяются с генерируемыми мембраной ионами  $OH^-$  и  $H^+$  и образуют нейтрализующие соли щелочь и кислоту. Кроме металлов из осадка извлекаются вещества, являющиеся ценным сырьем для промышленности.

Уран, медь, цинк, золото и некоторые другие металлы из хвостов переработки добывают преимущественно путем выщелачивания, решая одновременно проблему упрочнения сырьевой базы и улучшения экологии.

Экономическая эффективность и экологическая безопасность разработки месторождений обеспечивается путем применения для изготовления твердеющих смесей хвостов обогащения в рамках комбинирования традиционных технологий и технологий с выщелачиванием. Такая технология противопоставляется технологиям с неуправляемым выщелачиванием потерянных руд в недрах и хвостохранилищах.

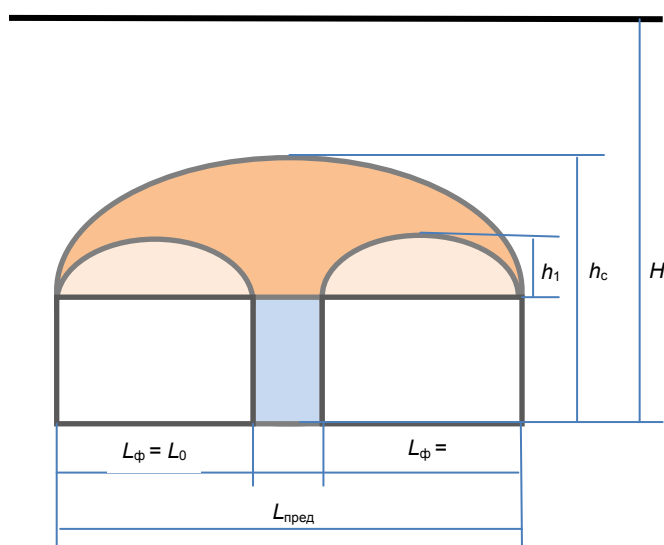
Она включает в себя элементы:

- выемка богатых руд с минимальными потерями и разубоживанием за счет заполнения пустот твердеющими смесями с выдачей на поверхность для переработки;
- выщелачивание металлов из хвостов переработки в активаторах с использованием активированных фракций в качестве вяжущих и инертных заполнителей.



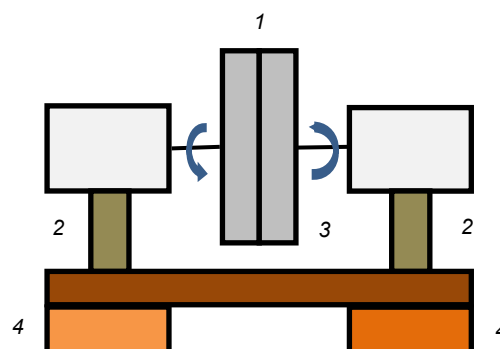
**Рисунок 1. Использование активаторов.** 1 – для улучшения качества смесей; 2 – для извлечения металлов и улучшения качества смесей.

**Figure 1. Use of activators.**



**Рисунок 2. Схема к разделению массива на безопасные участки.**  $L_{пред}$ ,  $L_{ф}$ ,  $L_0$  – предельный по условию образования свода естественного равновесия пролет, фактический и плоской кровли соответственно;  $H$  – глубина работ;  $h_c$  – высота свода естественного равновесия предельного пролета;  $h_1$  – высота нового свода.

**Figure 2. The scheme to the division of the array into safe areas.**



**Рисунок 3. Схема модернизации дезинтегратора.** 1 – дезинтегратор; 2 – вибровозбудители; 3 – основание; 4 – виброизолирующие опоры.

**Figure 3. Scheme of modernization of the disintegrator.**

В зависимости от состава хвостов обогащения активатор или только повышает активность компонентов смеси или, кроме этого, обеспечивает извлечение металлов из утилизируемого сырья (рис. 1).

Недостаток твердеющих смесей из утилизированных хвостов обогащения – сравнительно малая прочность – может быть уменьшен путем рационального использования горного давления. Если выработанное пространство находится под защитой заклинившихся структурных породных блоков, то безопасность работ может быть обеспечена при меньшей прочности из твердеющих смесей. Это положение реализуется путем разделения рудного поля на участки, где обеспечивается заклинивание пород в пределах возникающего свода (рис. 2).

Глубокая переработка металлосодержащего сырья возможна с ускорением процессов извлечения металлов в активаторах.

Механохимическая технология использует два вида энергии, например, в дезинтеграторе выщелачивающий раствор запрессовывается в трещины разрушающихся кристаллов и извлекает до 80 % от исходного содержания металлов в хвостах. А после извлечения металлов и солей хвосты обогащения могут быть использованы без ограничений по технологическим и санитарным свойствам.

Экологический контент состоит в том, что утилизацией снижается объем переходящих в мобильное состояние и влияющих на экосистемы тяжелых металлов [11–14].

Использование твердеющих смесей на основе хвостов обогащения включает этапы:

– разделение рудного поля на безопасные участки выемкой богатых руд камерами первой очереди с закладкой прочными смесями;

– выемка балансовых руд с закладкой твердеющими смесями в условиях разгрузки;

– выщелачивание металлов из бедных и забалансовых руд с использованием феномена твердения хвостов выщелачивания.

В горной практике промышленное использование дезинтегратора осуществлено в 1980-х гг. в цепи закладочного комплекса с закладкой около 100 000 м<sup>3</sup> пустот в год. Установка ДУ-65 была оборудована четырех- и трехрядными роторами и двигателями мощностью 250 кВт и располагалась в трех уровнях с площадью основания 5 × 7 м.

В течение 10 лет установка обеспечивала приращение прочности на 30 % больше, чем базовая обработка в шаровой мельнице. Выход после ДУ 55 % активного класса с доработкой в вибромельнице до выхода 70 % активной фракции позволил свести расход цемента до 30 кг/м<sup>3</sup>.

Сырьем служили гранулированные кислые хвосты Карагандинского металлургического завода. По вязущей способности эквивалентом 1 кг стандартного цемента М-400 были 4 кг активированных хвостов.

Экспериментальное исследование параметров перевода металлов в раствор осуществлено на хвостах обогащения цветных и черных металлов и углей с использованием дезинтегратора ДУ-11, изготовленного в Центре прикладной механохимии «Гефест».

Выщелачивание в дезинтеграторе с последующим выщелачиванием вне его, по сравнению с агитационным выщелачиванием, увеличивает извлечение из хвостов обогащения по свинцу – в 1,4 раза, по цинку – в 1,2 раза, а из забалансовой руды по свинцу – в 1,7 раза, по цинку – в 2,1 раза и делает это на два порядка быстрее.

В раствор выщелачивания извлекаются практически все содержащиеся в исходном сырье металлы. Путем увеличения циклов переработки металлов в хвостах содержание может быть понижено до норм ПДК.

Новая технология нуждается в решении кластера технологических проблем, например, повышение стойкости рабочего органа дезинтегратора, селективизация извлечения металлов и солей из комплексного раствора; нейтрализация маточников и т. п., которые получают решение по мере развития этого направления [15–18].

Совершенствование процесса выщелачивания в дезинтеграторе заключается в усилении слагающих его компонент (табл. 1).

Для профилактики слипания зерен металлосодержащего сырья и повышения степени контакта реагента с сырьем на него воздействуют вибрацией в горизонтальной плоскости и подбрасыванием с колебаниями от 30 до 1500 Гц при амплитуде горизонтальных колебаний от 2 до 50 мм и амплитуде до 30 мм.

Виброплощадка состоит из вибровозбудителя, короба и виброизолирующих опор. Короб, установленный на упругую систему, совершает возвратно-поступательные колебания. Процессы механохимической активации и выщелачивания дополняются подбрасыванием, в результате чего рудные частицы лишаются возможности слипаться между собой и прилипать к рабочим поверхностям (рис. 3).

Эффективность извлечения металлов из хвостов обогащения увеличивается при их предварительной обработке раствором серной и азотной кислот в смеси с элементарной серой. Хвосты в виде пульпы при отношении твердой фазы к жидкой 1 : 2 измельчают в смеси с элементарной серой в количестве 12 % до крупности 100 % фракции 0,01 мм. Обработку хвостов смесью кислот осуществляют при массовом соотношении последних 2 : 1 с повышением водородного показателя рН до 3. В результате упорные минералы металлов переводятся в растворимые комплексы.

Поликристаллическое сырье в дезинтеграторе разрушается по поверхностям спаек кристаллов и по границе разделов фаз, в результате чего процессы сепарирования фаз под воздействием вибрации и других методов упрощаются, а выход металлов в раствор за счет более глубокой проработки структурных компонентов увеличивается.

При совмещении процессов выщелачивания в дезинтеграторе и в штабеле возникает синергетический эффект, поскольку активированная в дезинтеграторе масса продолжает отдавать содержащиеся в ней металлы, увеличивая извлечение металлов по сравнению с выщелачиванием обоими способами в отдельности.

Для этого хвосты обогащения крупностью 200 меш репульпируют до содержания твердой фазы 30 %, сначала выщелачивают в дезинтеграторе, а затем укладывают в штабеля, обрабатывают раствором серной кислоты, промывают водой и выщелачивают растворами, например, сульфидотриоксосульфата натрия с концентрацией 10–20 г/л.

Эколого-экономическая эффективность интенсификации процессов выщелачивания в дезинтеграторе достигается тем, что из добытого сырья извлекается большее количество металла [19].

Извлечение из хвостов обогащения металлов до уровня санитарных требований с возможностью использования без ограничений радикально повышает полноту использования ресурсов [20].

Принципиальные отличия новой технологии заключаются в следующем:

- использование нового вида воздействия на минеральное сырье – большой энергии;
- возможность извлечения металлов до безопасных значений.

Вовлечение в производство омертвленных, практически неисчерпаемых минеральных ресурсов создает новую ми-

Таблица 1. Типизация процессов выщелачивания металлов.

Table 1. Typification of metal leaching processes.

Процессы	Цель совершенствования	Способ осуществления
Механическая дезинтеграция частиц с образованием новых рабочих плоскостей	Увеличение рабочих плоскостей и предупреждение слипания частиц	Повышение частоты вибрации рабочего органа дезинтегратора
Химическая обработка сырья перед подачей в дезинтегратор	Ускорение процесса перевода ингредиентов в раствор	Предварительная обработка раствором реагентов
Выщелачивание хвостов после дезинтегратора	Увеличение полноты использования упорного сырья	Последующая обработка раствором реагентов

**Таблица 2. Техногенные и разрабатываемые выщелачиванием месторождения.**  
**Table 2. Man-made and developed by leaching deposits.**

Металл	Месторождение, технология	Регион
Медь	Техногенные месторождения	Свердловская обл. Мурманская обл. Красноярский край
	Гумешевское, подземное выщелачивание	Свердловская обл.
Никель-кобальт	Аплареченское	Мурманская обл.
	Хвостохранилище № 1	Красноярский край
	Озеро Барьерное	
Цинк	Шлакоотвал	Свердловская обл.
Олово	Техногенные месторождения	–
Вольфрам	Барун-Нарынское	Бурятия
	Спокойнинское	Забайкальский край
Молибден с ураном	Стрельцовское, подземное и кучное выщелачивание	Читинская обл.
Титан	Кручининское, перспектива скважинного выщелачивания	Забайкальский край

нерально-сырьевую базу для промышленности и избавляет от необходимости вовлечения в эксплуатацию новых месторождений.

В 2017 г. увеличился объем добычи запасов техногенных месторождений выщелачиванием металлов из руд цветных металлов (табл. 2).

Концепция глубокой утилизации отходов переработки металлических руд отвечает принципам взаимодействия человека и биосферы и особенно актуальна для решения проблем диверсификации горного производства в условиях рынка.

#### Заключение

Горнодобывающие предприятия в целом завершают этап открытой добычи богатых руд и приступают к подземной разработке месторождений. Условия локализации рудных тел, масштабы производства и тенденции природосбережения обязывают применять варианты технологий с заполнением техногенных пустот твердеющими смесями.

Это повышает актуальность проблемы обеспечения горных работ сырьем для изготовления твердеющих смесей. Добыча сырья для бетонных смесей экологически некорректна, поэтому решение проблемы связано с использованием хвостов обогащения и металлургии. Для этого предстоит разработать технологию извлечения из них редких и благородных металлов.

Одним из направлений глубокой утилизации хвостов обогащения является механохимическая активация металлосодержащего некондиционного сырья, позволяющая не только извлечь металлы, но и повысить активность хвостов до состояния, когда они проявляют вяжущие свойства.

Использование в составах бетонных твердеющих смесей отходов обогатительного и металлургического передела улучшает прочность и реологические свойства твердеющих смесей на их основе. Предлагаемая технология позволяет повысить полноту использования ресурсов недр, возвращая ранее омертвленное сырье, содержащее пока еще теряемые металлические компоненты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитрак Ю. В., Камнев Е. Н. АО «Ведущий проектно-исследовательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» – путь длиной в 65 лет // Горный журнал. 2016. № 3. С. 6–12.
2. Brzovica A., Villaescusa E. Rock Mass Characterization and Assessment of Block-Forming Geological Discontinuities during Caving of Primary Copper Ore at the El Teniente Mine, Chile // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2007. Vol. 44. P. 565–583.
3. Полухин О. Н., Комашенко В. И. Природоохранная концепция добычи и переработки минерального сырья в Центральном федеральном округе России на примере Белгородского региона // Науч. ведомости БелГУ. Сер. «Естественные науки». 2014. Т. 29, № 23 (194). С. 180–186.
4. Перспективы экологически безопасного использования отходов производства на территориях горнодобывающих регионов / Н. М. Качурин [и др.] // Безопасность труда в промышленности. 2014. № 9. С. 81–84.
5. Polukhin O. N., Komashchenko V. I., Golik V. I., Drebenstedt C. Substantiating the possibility and expediency of the ore beneficiation tailings usage in solidifying mixtures production // Geology, Mining, Processing, Economics, Safety and Environmental Management: sci. Reports on Resource Issues Innovations in Mineral Resource Value Chains. Freiberg, 2014. С. 402–412.
6. Голик В. И., Страданченко С. Г., Масленников С. А. Экспериментальное обоснование возможности утилизации хвостов обогащения руд цветных металлов // Цветная металлургия. 2011. № 3. С. 19–27.
7. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use // Metallurgical and Mining Industry. 2015. № 3. P. 49–52.
8. Капунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Проблема использования возобновляемых источников энергии в ходе разработки месторождений твердых полезных ископаемых // ФТПРПИ. 2015. № 1. С. 88–96.
9. Mwase J. M., Petersen J., Eksteen J. J. A conceptual flowsheet for heap leaching of platinum group metals (PGMs) from a low-grade ore concentrate // Hydrometallurgy. 2012. Vol. 111–112. P. 129–135.
10. Chen T., Lei C., Yan B., Xiao X. Metal recovery from the copper sulfide tailing with leaching and fractional precipitation technology // Hydrometallurgy. 2014. Vol. 147–148. P. 178–182.
11. Рыльникова М. В. Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России // ГИАБ. Спец. вып. 2014. Т. 2. С. 25–32.
12. Ляшенко В. И. Повышение экологической безопасности в зоне влияния уранового производства // Изв. вузов. Геология и разведка. 2015. № 1. С. 43–52.

13. Ястребинский М. А. Разработка эколого-экономической классификации техногенных вторичных ресурсов, содержащих цветные, драгоценные металлы и редкоземельные элементы // ГИАБ. 2013. № 1. С. 78–84.
14. Комашенко В. И., Ерохин И. В. Концепция минимизации опасного загрязнения окружающей среды железорудных регионов КМА // ГИАБ. 2014. № 2. С.134–138.
15. Авдеев П. Б., Овешников Ю. М. Опыт применения кучного выщелачивания на рудных карьерах Забайкалья // ГИАБ. 2014. № 4. С. 90–95.
16. Яшкин И. А., Овешников Ю. М., Авдеев П. Б. Повышение эффективности технологии кучного выщелачивания золотосодержащих руд // ГИАБ. 2014. № 4. С. 90–95.
17. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation // Metallurgical and Mining Industry. 2015. № 4. P. 321–324.
18. Волков Ю. В., Соколов И. В. Оптимизация подземной геотехнологии в стратегии освоения рудных месторождений комбинированным способом // Горный журнал. 2011. № 11. С. 41–44.
19. Комашенко В. И., Васильев П. В., Масленников С. А. Технологией подземной разработки месторождений КМА – надежную сырьевую основу // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. 2016. № 2.С. 101–114.
20. Golik V. I., Hasheva Z. M., Economical Efficiency of Utilization of Allied Mining Enterprises Waste // The Social Sciences. 2015. № 10 (5). P. 682–686.

*Статья поступила в редакцию 22 января 2018 г.*

# The use of tailings while preparing hardening filling mixtures

Vladimir Ivanovich Golik<sup>1</sup>,  
v.i.golik@mail.ru

Yuriy Vital'evich Dmitrak<sup>1</sup>,  
Chzhun Chan<sup>2</sup>,

Stanislav Aleksandrovich Maslennikov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy  
(State Technological University)

Vladikavkaz, Russia  
<sup>2</sup>China University of Geosciences  
Beijing, P. R. China

<sup>3</sup>Don State Technical University, Institute of service and business  
(Branch) DSTU  
Shakhty, Rostov region, Russia

**The relevance of the work** is conditioned by the need to increase the completeness of the use of metal mineral raw materials extracted from the depths. The complexity of its use by increasing the scope of new environmental and resource-saving technologies is also important. Unfortunately, the resource-saving technologies use little-studied reserves of production.

**The purpose of the work** is to substantiate the technological possibility and expediency of the use of waste from processing and metallurgical industries. This is done for the manufacture of hardening mixtures with an increase in their activity in the activators of the "disintegrator" type simultaneously with the extraction of residual metals.

**Research methodology:** analysis of theory and best practices, industrial and laboratory experiment, and interpretation of research results.

**Results.** Natural and resource-saving trends are implemented in the development of the mining industries. This happens under the conditions when many mining enterprises of Russia may switch to underground mining of ore deposits. There is a tendency of using chamber versions of technology with filling technological voids with hardening mixtures. The problem of providing mining operations with raw materials for the manufacture of hardening mixtures was formulated. The production of raw materials is open. It is environmentally incorrect in connection with the destruction of the earth's surface. The solution to the problem of providing raw materials for preparing hardening mixtures in the form of enrichment tails and metallurgy is associated with the need to extract rare and noble metals from them. The results of an industrial experiment using mechanochemical activation of metal-containing substandard raw materials, are described. This activation allows to extract metals and increases the activity of the tailings to the state when they exhibit binding properties. The directions of activators improvement to achieve the goals of mechanochemical technology.

**Conclusion.** The technology proposed is a real opportunity to solve the problem of providing raw materials and ease the load on the environment. Mining and geological conditions and trends in nature conservation make the preferred technology options with filling man-made voids with hardening mixtures. A promising line of utilizing metal-containing substandard raw materials. This not only allows to extract metals, but also to increase the activity of tails, is the mechanochemical activation of leaching processes in the disintegrator.

**Keywords:** metal; minerals; waste recycling; concrete mix; disintegrator; mechanochemical activation; binding properties.

## REFERENCES

1. Dmitrak Yu. V., Kamnev E. N. 2016, AO «Vedushchiy proyektno-izyskatel'skiy i nauchno-issledovatel'skiy institut promyshlennoy tekhnologii» – put' dlinoy v 65 let [JSC "Leading design and survey and research Institute of industrial technology" – a path of 65 years]. *Gornyi zhurnal* [Mining journal], no. 3, pp. 6–12.
2. Brzovica A., Villaescusa E. 2007, Rock Mass Characterization and Assessment of Block-Forming Geological Discontinuities during Caving of Primary Copper Ore at the El Teniente Mine, Chile. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 44, pp. 565–583.
3. Polukhin O. N., Komashchenko V. I. 2014, Prirodookhrannaya kontseptsiya dobychi i pererabotki mineral'nogo syr'ya v Tsentral'nom federal'nom okruge Rossii na primere Belgorodskogo regiona [Environmental natural concept of mining and processing of mineral raw materials in the Central Federal district of Russia on the example of the Belgorod region]. *Nauch. vedomosti BelGU. Ser. «Yestestvennyye nauki»* [Belgorod State University Scientific Bulletin, Natural Sciences], vol. 29, no. 23 (194), pp. 180–186.
4. Kachurin N. M. and others. 2014, Perspektivy ekologicheskoy bezopasnosti ispol'zovaniya otkhodov proizvodstva na territoriyakh gornodobyvayushchikh regionov [Prospects of environmentally safe use of production waste in the territories of mining regions]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* [Occupational safety in industry], no. 9, pp. 81–84.
5. Polukhin O. N., Komashchenko V. I., Golik V. I., Drebenstedt C. 2014, Substances the possibility and expediency of the ore benefit tailings usage in solidifying mixes production. *Geology, Mining, Processing, Economics, Safety and Environmental Management: sci. reports on Resource Issues Innovations in Mineral Resource Value Chains*. Freiberg, pp. 402–412.
6. Golik V. I., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A. 2011, *Experimental'noye obosnovaniye vozmozhnosti utilizatsii khvostov obogashcheniya rud tsvetnykh metallov* [Experimental substantiation of the possibility of recycling the tailings of non-ferrous metals]. *Tsvetnaya metallurgiya* [Non-ferrous metallurgy], no. 3, pp. 19–27.
7. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. 2015, Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use. *Metallurgical and Mining Industry*, no. 3, pp. 49–52.
8. Kaplunov D. R., Ryl'nikova M. V., Radchenko D. N. 2015, Problema ispol'zovaniya vobnovlyayemykh istochnikov energii v khode razrabotki mestorozhdeniy tvorodnykh poleznykh iskopayemykh [The problem of the use of renewable energy sources during the development of deposits of solid minerals]. *FTPRPI* [Journal of Mining Science], no. 1, pp. 88–96.
9. Mwase J. M., Petersen J., Eksteen J. J. 2012, A conceptual flowsheet for heap leaching of platinum group metals (PGMs) from a low-grade ore concentrate. *Hydrometallurgy*, vol. 111–112, pp. 129–135.
10. T. Chen, C. Lei, B. Yan, Xiao X. 2014, Metal recovery from the copper sulfide tailing with leaching and fractional precipitation technology. *Hydrometallurgy*, vol. 147–148, pp. 178–182.
11. Ryl'nikova M. V., 2014, Usloviya ustoychivogo funktsionirovaniya mineral'no-syr'yevogo kompleksa Rossii [Conditions for the sustainable functioning of mineral-raw material complex of Russia]. *GIAB. Spets. vypusk* [Mining Informational and Analytical Bulletin. Special issue], vol. 2, pp. 25–32.
12. Lyashenko V. I., 2015, Povysheniye ekologicheskoy bezopasnosti v zone vliyaniya uranovogo proizvodstva [Increase of ecological safety in the zone of influence of uranium production]. *Izv. vuzov. Geologiya i razvedka* [Proceedings of Higher Schools. Geology and Exploration], no. 1, pp. 43–52.
13. Yastrebinsky M. A. 2013, Razrabotka ekologo-ekonomicheskoy klassifikatsii tekhnogennykh vtorichnykh resursov, sodержashchikh tsvetnyye, dragotsennyye metally i redkozemel'nyye elementy [Development of ecological-economic classification of technogenic and secondary resources containing non-ferrous, precious metals and rare earth elements]. *GIAB* [Mining Informational and Analytical Bulletin], no. 1, pp. 78–84.
14. Komashchenko, V. I., Erokhin V. I. 2014, Kontseptsiya minimizatsii opasnogo zagryazneniya okruzhayushchey sredy zhelezorudnykh regionov KMA [The concept of minimizing the threat of environmental pollution iron ore regions of Kursk magnetic anomaly]. *GIAB* [Mining Informational and Analytical Bulletin], no. 2, pp. 134–138.
15. Avdeyev P. B., Oveshnikov Y. M. 2014, Opyt primeneniya kuchnogo vyshchelachivaniya na rudnykh kar'yerakh Zabaykal'ya [The experience of application of heap leaching the ore in quarries of the Trans-Baikal]. *GIAB* [Mining Informational and Analytical Bulletin], no. 4, pp. 90–95.
16. Yashkin I. A., Oveshnikov Yu. M., Avdeyev P. B. 2014, Povysheniye effektivnosti tekhnologii kuchnogo vyshchelachivaniya zolotosoderzhashchikh rud [Increasing the efficiency of heap leaching technology of gold-containing ores]. *GIAB* [Mining Informational and Analytical Bulletin], no. 4, pp. 90–95.
17. Hoewel V., Komashchenko V., Morkun V. 2015, Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation. *Metallurgical and Mining Industry*, no. 4, pp. 321–324.
18. Volkov Yu. V., Sokolov I. V. 2011, Optimizatsiya podzemnoy geotekhnologii v strategii osvoyeniya rudnykh mestorozhdeniy kombinirovannym sposobom [Optimization of underground Geotechnology in the strategy of development of ore deposits by the combined method]. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], no. 11, pp. 41–44.
19. Komashchenko V. I., Vasilyev P. V., Maslennikov S. A. 2016, Tekhnologiyam podzemnoy razrabotki mestorozhdeniy KMA – nadyozhnnyu syr'yevuyu osnovu [Technologies of underground development of KMA deposits to possess a reliable raw material basis]. *Izvestiya TuIGU. Nauki o Zemle* [News of the Tula State University. Natural sciences], no. 2, pp. 101–114.
20. Golik V. I., Hasheva Z. M. 2015, Economic Efficiency of Utilization of Allied Mining Enterprises Waste. *The Social Sciences*, no. 10 (5), pp. 682–686.

The article was received on January 22, 2018