

УДК 622.7:001.895

В. А. ЧАНТУРИЯ (ИПКОН РАН)

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ КОМПЛЕКСНОЙ И ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ*



В. А. ЧАНТУРИЯ,
главный научный сотрудник,
академик РАН

В статье сделан обзор процессов комплексной переработки минерального сырья, апробированных и реализованных на горных предприятиях. Приведены цифры экономического эффекта внедрения в производство новых процессов и аппаратов.

Ключевые слова: обогащение полезных ископаемых, минеральное сырье, процессы переработки минерального сырья, производственные отходы, хвостохранилища, экономическая эффективность.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.07.05>

Современное развитие горно-металлургического комплекса России характеризуется, с одной стороны, повышенным спросом промышленности в цветных, редких, редкоземельных металлах, углях высокого качества, а с другой — вовлечением в переработку минерального сырья с низким содержанием ценных компонентов, тонкой их вкрапленностью вплоть до эмульсионной, близкими физико-химическими и технологическими свойствами минералов.

В связи с вступлением России в мировой рынок повышаются требования к качеству концентратов как по технологическим, так и по экологическим критериям. Кроме того, в сравнении с развитыми зарубежными странами в России, помимо вовлечения в переработку труднообогатимых руд, до сих пор наблюдается сильное отставание в развитии машиностроительной базы для производства горного и обогатительного оборудования, его качества, металлоемкости, энергоемкости и износостойкости.

В этих условиях повышение полноты и комплексности обогащения минерального сырья, создание высокоэффективных, экологически безопасных технологий приобретает первостепенное значение. Оно должно основываться на интенсификации действующих и создании новых способов извлечения компонентов из труднообогатимых руд и техногенных объектов на базе новейших достижений фундаментальных наук, комбинировании обогатительных и химико-металлургических процессов с применением современных пиро- и гидрометаллургических технологий.

Переход на новую стратегию первичной переработки возможен только на основе новой технолого-минералогической оценки

минерального сырья. В настоящее время технологическая минералогия имеет в своем арсенале современный комплекс физических методов с высокой разрешающей способностью, позволяющей исследовать состав, структуру и свойства геоматериалов на микро- и наномасштабе, в том числе:

- выявить микро- и наноразмерные частицы благородных металлов, поверхностные природные и искусственные нанобразования на минералах;
- экспериментально обосновать структурные, фазовые и химические преобразования минералов при различных энергетических воздействиях;
- обосновать выбор и механизм взаимодействия реагентов с благородными металлами при флотации комплексных руд сложного вещественного состава;
- исследовать структурные, фазовые и химические преобразования сульфидов и горных пород в процессах выщелачивания.

Таким образом, технологическая минералогия является информационным фундаментом единого теоретического подхода к научному обоснованию процессов комплексной переработки минерального сырья. Ниже дается краткая характеристика таких процессов, уже нашедших применение на практике.

Рентгенометрическая и фотометрическая сепарация

В настоящее время для вовлечения в эксплуатацию бедных и забалансовых руд широко используется современная технология рудоподготовки на основе крупнокусковой рентгенометри-

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ НШ-748.2014.5 ведущей научной школы В. А. Чантурия.

ческой и фотометрической сепарации, позволяющей удалить из рудной массы до 50–70 % отвального продукта (он может быть использован в качестве строительного материала или закладки при ведении подземных горных работ), в 1,3–1,9 раза повысить содержание ценных компонентов, снизить затраты на основные процессы обогащения [1].

За последние 10 лет рентгенорадиометрическая сепарация внедрена на предприятиях цветной металлургии Урала — Учалинском и Гайском ГОКах, планируется внедрение на Тарньерском и Волковском месторождениях, свыше 50 лет эффективно работает рентгенолюминесцентная сепарация на объектах АК «АЛРОСА».

В ЦНИГРИ совместно с немецкой фирмой Alind разработана технология фотометрической сепарации золотосодержащих руд с применением высокопроизводительных сепараторов группы компаний OrtoSopt, которые позволяют вести предварительное обогащение руд крупностью от 300 до 2 мм; производительность установок на крупных классах (–150 мм) достигает 380 т/ч. Высокая эффективность обогащения руд достигается с помощью оптической системы сканирования изображения в монослое руды, движущейся по транспортной ленте со скоростью 3 м/с, и соответствующего программного обеспечения для компьютерной обработки изображений [2].

Полупромышленные испытания фотометрической сепарации на золотосодержащих рудах месторождения Сухой Лог показали возможность выделения до 46–70 % отвальных хвостов и повышения содержания золота в руде в 1,76–2,4 раза в зависимости от типа исходной руды, а также привели к снижению энергозатрат на процессах измельчения на 30 %. Подсчитанные с примени-

ем фотометрической сепарации запасы золота превышают ранее утвержденные в 1,9 раза [2].

Прошли успешные испытания фотометрической сепарации на золотосодержащих рудах Наталкинского месторождения и кимберлитах Нюрбинского месторождения.

Селективная дезинтеграция

В процессах обогащения минерального сырья около 70 % энергии расходуется на дробление и измельчение руды. Расход электроэнергии на измельчение в зависимости от типа руд составляет от 20 до 60 кВт·ч/т. Причем в ряде случаев уменьшение крупности измельченного материала не приводит к повышению степени раскрытия минералов.

В настоящее время до 35–40 % потерь ценных компонентов в процессах первичной переработки связано со сростками и 30–35 % — с тонкими частицами (менее 10 мкм). Для того, чтобы снизить эти потери при переработке тонковкрапленных руд без образования сростков и одновременно без излишнего переизмельчения, традиционные процессы дробления и измельчения в щековых, конусных дробилках и шаровых мельницах должны быть заменены процессом селективной дезинтеграции.

Физический смысл перехода к селективной дезинтеграции заключается в организации процесса таким образом, чтобы разрушение происходило не по случайным направлениям сжимающих усилий, а преимущественно по границам срастания минеральных зерен в результате развития по ним сдвиговых и растягивающих нагрузок. Эти способы реализованы в мельницах динамического самоизмельчения, конусных инерционных дробилках,

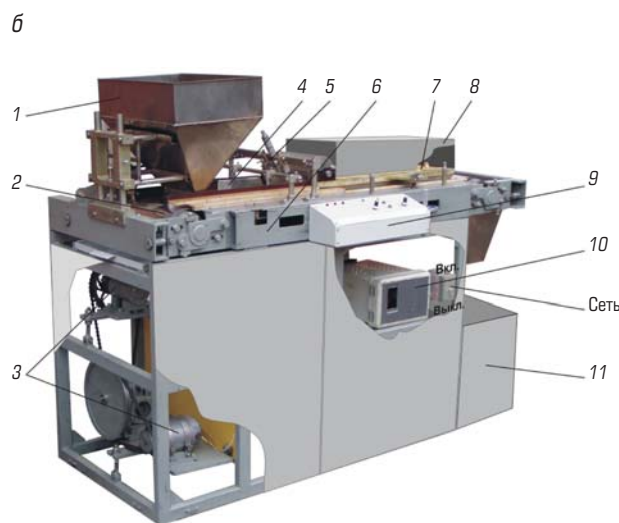


Рис. 1. Установки для электроимпульсной обработки минерального сырья: промышленный аппарат

(производительность 1 т/ч) (а), модульная экспериментальная установка (производительность 100 кг/ч) (б):

1 — бункер-накопитель и дозатор породы; 2 — механизм привода; 3 — мотор с редуктором; 4 — ограничитель потока сырья по ширине; 5 — ограничитель потока сырья по высоте; 6 — транспортная система; 7 — электродная система энергетической обработки; 8 — генератор высоковольтных наносекундных импульсов; 9 — пульт управления; 10 — источник регулируемого напряжения; 11 — бункер-накопитель обработанного сырья

ролинг-прессах, газоструйных и пружинных мельницах для сверхтонкого измельчения [3].

Для раскрытия тонковкрапленных минеральных комплексов (–20 мкм) весьма перспективными являются немеханические способы разрушения, обеспечивающие дезинтеграцию по межфазовым границам за счет образования микротрещин и каналов пробоа [4]: СВЧ-обработка; электродинамическое воздействие; магнитоимпульсная обработка; мощные электромагнитные наносекундные импульсы. Значительный интерес и большие финансовые вложения зарубежных фирм в данные технологии указывают на их большую перспективность при дезинтеграции тонковкрапленных минеральных комплексов (вплоть до наноразмеров).

Из вышперечисленных методов дезинтеграции минерального сырья существенные преимущества имеет метод воздействия на золотосодержащие и полиметаллические руды мощными наносекундными электромагнитными импульсами (МЭМИ). Этот метод позволяет наиболее рационально использовать электроэнергию (селективное разрушение происходит без нагрева руды) и за счет полноты интергранулярного разрушения минеральных компонентов максимально извлекать металлы при наименьших затратах электроэнергии. Модульный и промышленный аппараты дезинтеграции компактны в изготовлении (рис. 1).

Кроме создания каналов пробоа и микротрещин по границам сростания минералов, мощные наносекундные воздействия в процессе отработки сульфидов образуют на их поверхности наноразмерные соединения в виде гидрофобной элементной серы и различных гидрофильных кислородсодержащих соединений. Данный факт позволяет выбирать такой режим обработки, который позволяет не только достичь эффективного разделения минеральных комплексов, но и создать оптимальные условия для повышения контрастности их свойств и последующей флотационной сепарации [5–7].

Повышение селективности обогатительных процессов

Проблема разделения минералов с близкими технологическими свойствами традиционно решается повышением селективности обогатительных процессов. Эти работы ведутся по нескольким направлениям: синтез флотационных реагентов направленного действия и использование энергетических методов обработки минералов пульп и промышленных вод.

В связи с тем, что основные потери (от 25 до 30 %) золота и минералов платиновой группы связаны с частицами минералов микро- и наноразмеров, концентрация которых в рудах не превышает в основном 1,5–3 г/т, необходимо было для изучения механизма и создания нового класса флотационных реагентов разработать методы и методики получения объектов данной размерности, имитирующих природные геоматериалы. В ИПКОН РАН [8, 9] были научно обоснованы и предложены методики искусственного нанесения микро- и наночастиц Au и Pt на минералы, что позволило исследовать механизм взаимодействия нового класса реагентов с благородными металлами. Реализация новых реагентов позволила повысить как извлечение, так и качество концентратов

при вовлечении в переработку бедных, труднообогатимых руд благородных металлов сложного вещественного состава.

В последние годы для направленного изменения поверхностных свойств минералов широко используются радиационные, ультразвуковые, электрохимические, механохимические, плазменные воздействия на них. И если раньше эти методы рассматривались как экзотические, то в связи с началом выпуска промышленных электрохимических кондиционеров пульпы, плазмотронов, линейных ускорителей, ультразвуковых генераторов можно говорить о реальном внедрении новых экологически безопасных технологий в процессах первичной переработки труднообогатимых руд и угля сложного вещественного состава [1].

В настоящее время сложились благоприятные условия для практического внедрения новой технологии по использованию энергии мощных энергетических воздействий при обогащении различных видов минерального сырья. Как было показано выше, предварительная обработка минеральных комплексов позволяет не только снизить затраты на измельчение, но и значительно повысить извлечение и качество концентратов. Высокая эффективность энергетических методов в процессах обогащения подтверждается исследованиями ученых Канады, Германии, Японии, ЮАР [4].

Предварительная механохимическая активация промпродуктов и концентратов в планетарных мельницах за счет создания дополнительных дефектов и образования новых фаз в объеме минеральных частиц интенсифицирует процессы их последующего выщелачивания (CO PAN). Механоактивация бадделейтового концентрата с NaOH в планетарной мельнице в течение 2–4 мин и последующего нагревания при 600–700 °С за 2 ч позволяет достичь 80–95%-ного разложения концентрата и получения чистого диоксида циркония (ИХТРЭМС КНЦ PAN). Ультразвуковая обработка пульпы при цианировании руды Мутновского месторождения крупностью –2 мм за счет растворения поверхностных пленок с сульфидов повышает извлечение золота на 23 %, при обработке пульпы перед флотацией руды Мангазейского месторождения позволяет повысить извлечение серебра на 3,2 %, свинца — на 7,8 % и цинка — на 3,5 % (ЦНИГРИ) [10].

Таким образом, дозированные физические и физико-химические воздействия на поверхность минералов изменяют их свойства в нужном направлении и позволяют перевести труднообогатимые руды в категорию нормально обогатимых.

Бактериальное выщелачивание золота

Большой комплекс научно-исследовательских работ проводится в области биотехнологии извлечения золота из упорных руд и концентратов (ЦНИГРИ, ИНМНИ РАН, НИТУ «МИСиС»). В России впервые технология бактериального чанового выщелачивания реализована в процессе переработки упорных концентратов Олимпиадинского золоторудного месторождения [2, 10]. Готовятся к освоению по такой технологии еще несколько крупных месторождений: Нежданинское, Кючусское, Попутнинское и др.

В настоящее время научные исследования направлены на сокращение продолжительности процесса и повышения полноты окисления сульфидов, эффективности вскрытия золотосодержа-

щего пирита, разработку оптимального состава ассоциаций мезофильных и умеренно термофильных бактерий, ускоряющих процесс биоокисления сульфидов и позволяющих сократить время выщелачивания в 2 раза при высоком (90–98 %) извлечении золота в процессе последующего сорбционного цианирования остатка биоокисления [10].

Комбинированная переработка минерального сырья

Все изложенные направления призваны повысить эффективность обогатительных процессов, но последние подошли к пределу своих возможностей. Обогащение — это разделение минералов без изменения их фазового и химического состава. Обогащительные процессы становятся бессильны при переработке руд с субмикрозернистой структурой. Вместе с тем основным противоречием между современным состоянием сырьевой базы и возможностями традиционной технологии первичной переработки является необходимость вовлечения в эксплуатацию руд и углей (в том числе из техногенных объектов), содержащих минеральные агрегаты, которые невозможно раскрыть на минеральные фазы, а следовательно, невозможно и обогатить.

Наиболее кардинальным разрешением этого противоречия является переработка таких типов руд в условиях горно-металлургических комбинатов, когда в цикле обогащения в концентраты извлекается только легкообогатимая часть ценных минералов, а нераскрытые минеральные агрегаты (в виде промежуточного продукта) направляются в металлургический цикл (рис. 2). Степень концентрирования минерального сырья при первичной обработке, после которой целесообразно его передавать в металлургический передел, определяется для каждого конкретного месторождения отдельно с учетом особенностей минерального состава и структуры руды. Оптимальное качество концентрата, при котором дальнейшее обогащение неэффективно, а в ряде случаев бессмысленно, должно уточняться расчетом по всей дистанции — от добычи руды до получения металла (конечной продук-

ции). Для месторождений с субмикрозернистым сростанием рудных минералов нецелесообразно осуществлять селекцию, а выгоднее передавать на металлургический передел коллективные концентраты и промпродукты. Появление пиро- и гидрометаллургических процессов, рассчитанных на переработку бедного сырья, позволяет получить по такой комбинированной обогатительно-металлургической технологии металлы или химические соединения при высоком сквозном извлечении компонентов и максимальной комплексности использования сырья.

Данная технология успешно внедрена на Норильском ГМК при автоклавном окислительном разложении пирротиновых концентратов. Комбинирование автоклавных процессов выщелачивания с флотационными и хлоридовозгоночными на основе их оптимального сочетания при переработке медно-цинковых руд позволяет повысить извлечение меди на 4–12 %, цинка — на 10–25 %, благородных металлов — на 10–20 % [11]. Переработка труднообогатимых полиметаллических руд месторождения Озерное по комбинированной схеме, включающей коллективную флотацию минералов свинца и цинка, автоклавное выщелачивание цинка и хлоридное выщелачивание свинца из кеков, дает возможность повысить извлечение цинка до 80–90 %, свинца — до 70–80 % (АО «Механобр»).

Комбинированные обогатительно-гидрометаллургические процессы переработки лейкоксеновых руд Ярегского месторождения позволяют получить синтетический рутил, являющийся качественным сырьем для производства титана и волластонита. Редкие и редкоземельные элементы практически полностью концентрируются в синтетическом рутиле, что позволяет при получении $TiCl_4$ извлекать их в составе твердого остатка [12].

Переработка производственных отходов

Новые методы рудоподготовки и переработки минерального сырья дают возможность свести к минимуму количество отходов, однако складирование хвостов обогащения, за редким исключением, является неизбежным.

В настоящее время на территории горнодобывающих предприятий России накоплено более 20 млрд т отходов, содержание ценных компонентов в которых в ряде случаев превышает их содержание в разрабатываемых природных месторождениях. Так, содержание золота в хвостах обогащения россыпных месторождений и полиметаллических руд прошлых лет разработки (30–50-летней давности) составляет от 0,5 до 1,5 г/т. Что касается повторной переработки хвостов обогащения сульфидных руд из хвостохранилищ (для извлечения цветных металлов), то в большинстве случаев схемы их переработки сложны, включают процессы гравитации, флотации и гидрометаллургии; в результате по технико-экономическим показателям и качеству концентратов продукты такой переработки не всегда конкурентоспособны с продуктами, получаемыми из природного сырья. Экономическая эффективность переработки техногенного сырья во многом зависит от мировых цен на металл.

Современная исходная научная позиция при решении данной научной проблемы состоит в том, чтобы рассматривать отходы

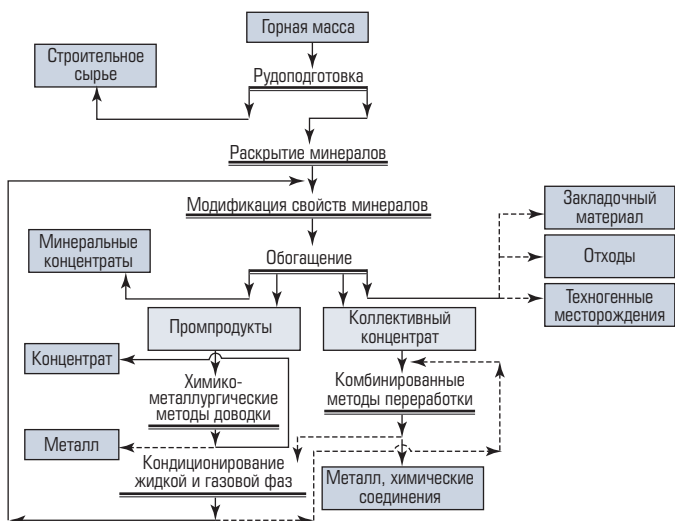


Рис. 2. Принципиальная схема первичной переработки труднообогатимых руд

горно-обогатительного производства в виде новых ресурсов для поддержания производительного потенциала недр, а также изменения состояния последних в целях дальнейшего их использования путем закладки подземных пустот, создания техногенных ресурсов обедненного минерального сырья, экологически и технологически ориентированного управления фильтрационными, компрессионными и иными свойствами горных пород на определенных участках литосферы с целью придания этим участкам полезных качеств.

Вскрышные породы и отходы обогащения руд цветных металлов, как показывает отечественная и зарубежная практика, наиболее экономически выгодно перерабатывать методом кучного выщелачивания (ВНИИХТ, ЦНИГРИ). Так, в США за последние годы половина прироста добычи золота получена за счет кучного выщелачивания бедных руд. Положительный опыт кучного выщелачивания золота из хвостов обогащения имеется и в России; данная технология реализована на ряде горно-обогатительных комбинатов страны [13].

В ЦНИГРИ на примере золотопиритных хвостов обогащения полиметаллических руд ОАО «Святогор» УГМК, содержащих 1,2–1,4 г/т золота, 20–22 г/т серебра, 0,66 % меди и 0,5 % цинка, разработана комбинированная технология кучного бактериального выщелачивания благородных и цветных металлов. Конечными товарными продуктами являются золотые слитки (сплав Доре) с извлечением 80,34 % золота и медь цементная с содержанием 61,42 % при извлечении 56,81 % [10, 13].

Институтом микробиологии РАН (ИНМИ РАН) научно обоснована и опробована биотехнология совместной переработки отходов металлургического производства: лежалых пиритных хвостов и хвостов флотации конвертерных шлаков [14]. Технология позволяет извлечь до 80 % меди и 57 % цинка из вторых видов отходов и 50 % меди, 57,8 % золота и 50,9 % серебра — из первых.

ООО «Спирит» разработана эффективная технология комплексной переработки золотошлаковых отходов ТЭЦ, занимающих на сегодня площадь 28 тыс. га, объемом 1,5 млрд т, с получением высококачественного железного (58–60 %) концентрата, золотосодержащего продукта и коллективного алюмосиликатного продукта.

Наиболее ярким достижением в освоении техногенного сырья является реализация на Ковдорском ГОКе в сотрудничестве с ГоИ КНЦ РАН технологии извлечения апатита из лежалых хвостов мокрой магнитной сепарации, что позволило получить предприятию дополнительно 500 тыс. т апатитового концентрата [15].

Природоохранная политика диктует отношение к сооружению хвостохранилищ как к созданию техногенных месторождений. В соответствии с этим, используя закономерности природного обогащения, проявляющиеся при образовании россыпей, возможно организовать намыв хвостохранилища таким образом, чтобы сконцентрировать остатки рудных минералов в периферийных частях объекта; отсюда они могут быть извлечены, например, методами геотехнологии, не нарушая устойчивости дамбы. Наряду с этим хвостохранилище должно формироваться из условия мини-

мального гидродинамического взаимодействия с окружающими геологическими структурами; по истечении же срока эксплуатации объекта должны быть приняты меры к его рекультивации и возвращению занимаемой площади под землепользование.

Водоподготовка в процессах обогащения

Проблема охраны окружающей среды также решается за счет перехода на систему замкнутого водооборота. Переход от саморегулирующейся среды системы оборотного водоснабжения на систему с кондиционированием позволяет отказаться от сброса сточных вод и вместе с тем обеспечить стабильность технологического процесса за счет создания или поддержания оптимального ионного состава.

В настоящее время очистка и кондиционирование оборотных вод обогатительных фабрик осуществляется с помощью химических реагентов, сорбционных, электродиализных и комбинированных методов с использованием в первичной стадии очистки природных сорбентов (высокопористые угли, цеолиты). Однако данные технологии дороги, в основном позволяют осуществлять только очистку промышленных вод от токсичных веществ и не обеспечивают регулирования их ионного состава с целью придания жидкой фазе пульпы оптимальных физико-химических свойств для эффективного проведения того или иного технологического процесса разделения минералов.

В ИПКОН РАН в 1980-е годы были разработаны научные основы, промышленные технологии и аппараты электрохимического метода водоподготовки, позволяющие без использования химических реагентов, за счет протекания реакций разложения воды на катоде и аноде изменять цветность, окислительно-восстановительные свойства, ионный и газовый состав воды, тем самым создавая условия для направленного регулирования ионного состава жидкой фазы пульпы и повышения контрастности свойств минералов. Результаты промышленных испытаний данной технологии водоподготовки на полиметаллических, шеелитовых, апатитовых, фосфоритовых, бокситовых и редкометалльных рудах подтвердили ее высокую эффективность, возможность снижения расхода реагентов-собирателей и регуляторов среды на 50 %, повышения извлечения ценных компонентов на 5–10 % в условиях замкнутого водооборота. Расход электроэнергии составил 0,5–2 кВт·ч/м³ воды [16].

Использование кислого продукта электролиза воды (анолита) с высокими окислительно-восстановительными свойствами ($E_h > 800$ мВ) и $pH = 3 \div 5$ позволяет при его использовании в процессах кондиционирования черновых концентратов эффективно осуществлять процесс очистки поверхности минералов от гидрофильных карбонатно-силикатных и железосодержащих гидрофильных пленок, тем самым создавая условия для повышения качества концентратов и извлечения в них ценных компонентов [17, 18]. Так, предварительная обработка алмазов продуктами электролиза воды (анолит) позволяет эффективно очищать поверхность алмазов (на 80–90 %) от карбонатно-силикатных соединений, повышать гидрофобность трудноизвлекаемых кристаллов и их качество (рис. 3).

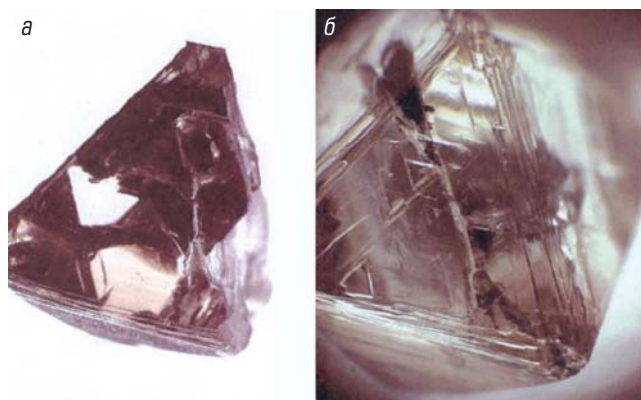


Рис. 3. Глубокая очистка алмазов по стандартной (а) и новой (б) технологиям

Создание и производство промышленных электрохимических кондиционеров воды (ЭКВ-50) и реализация электрохимической технологии водоподготовки в процессах пенной и липкостной сепараций обогащения алмазосодержащих кимберлитов на АК «АЛРОСА» позволяет повысить извлечение алмазов [17].

Использование техногенных вод

Дополнительным резервом получения металлов могут служить минерализованные кислые технологические воды, их же можно использовать и в качестве активного рабочего агента в процессах кучного выщелачивания бедных руд сложного вещественного состава. Извлечение содержащихся в минерализованных водах металлов и других элементов при переработке продуктивных растворов выщелачивания методами гидрометаллургии позволяет получить дополнительную товарную продукцию и способствует очистке промышленных стоков перед сбросом их в местную речную сеть.

Наиболее эффективная и адаптированная к многокомпонентным подотвальным водам горных предприятий Урала химико-электрохимическая технология впервые позволила получить се-

лективные товарные продукты меди, цинка, марганца и воду, очищенную до ПДК [19].

Комбинированная химико-электрохимическая отработка кислых подотвальных вод УГМК позволяет за счет образования гипохлорита и концентрации в ней ионов марганца и трехвалентного железа интенсифицировать процесс окисления и выщелачивания некондиционных медно-цинковых руд с получением рабочих растворов, пригодных для последующего получения товарных продуктов меди и цинка (рис. 4) [20].

Электрохимическая обработка техногенных вод хвостохранилища Мирнинского ГОКа АК «АЛРОСА», содержащих до 2 г/л хлора, позволяет получить гипохлорит, который может быть использован вместо токсичного хлора для обеззараживания городских бытовых вод. Данная технология решила сразу две проблемы: заменила токсичный хлор и увеличила срок службы хвостохранилища [21].

Электрохимический метод сепарации шламодержащих вод ОАО «Севералмаз» позволил впервые эффективно интенсифицировать процесс осаждения тонкодисперсных глинистых частиц сапонита, нарушающих процесс рентгенолюминесцентной сепарации вследствие налипания шламов на алмазах. В результате были получены два продукта: осветленная вода, пригодная для процесса извлечения алмазов, и сапонитсодержащий продукт (извлечение 82 %), который по своим характеристикам может быть использован в качестве строительного материала и в медицинских целях [22].

Таким образом, Россия в настоящее время располагает научным и технологическим заделом для разработки эффективных, энергосберегающих технологий комплексной и глубокой переработки минерального сырья, соответствующих мировому уровню, а по ряду технологий и превосходящих его, что неоднократно отмечалось на последних международных конгрессах по обогащению полезных ископаемых.

Реализация новых технологий на горно-обогатительных предприятиях России позволит повысить извлечение металлов на 10–15 %, получать высококачественную готовую продукцию,

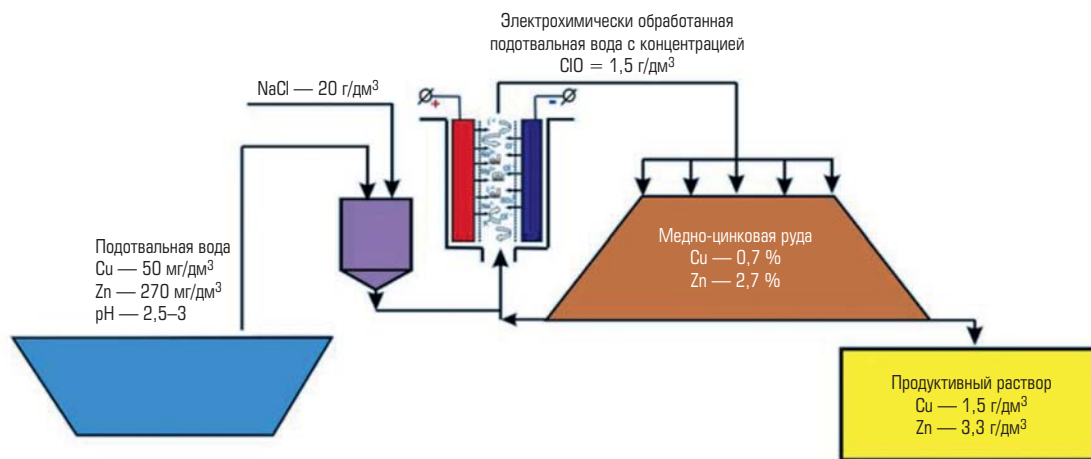


Рис. 4. Схема электрохимической технологии водоподготовки в процессе кучного выщелачивания медно-цинковых руд

конкурентоспособную на мировом рынке, снизить энергоемкость и повысить производительность труда в 2–3 раза, вовлечь в переработку забалансовые руды и техногенное сырье, восполнить дефицит по ряду металлов (марганец, редкие, редкоземельные металлы) и резко улучшить экологическую обстановку в горно-промышленных регионах.

В связи с вышеизложенным развитие горной науки должно создавать необходимые предпосылки не только для увеличения разнообразия и физических объемов добычи и переработки полезных ископаемых как основы экономики горнопромышленного комплекса, но и, главным образом, для непрерывного инновационного, высокотехнологичного его развития на принципах комплексного освоения ресурсов недр, ресурсосбережения и экологической безопасности.

Библиографический список

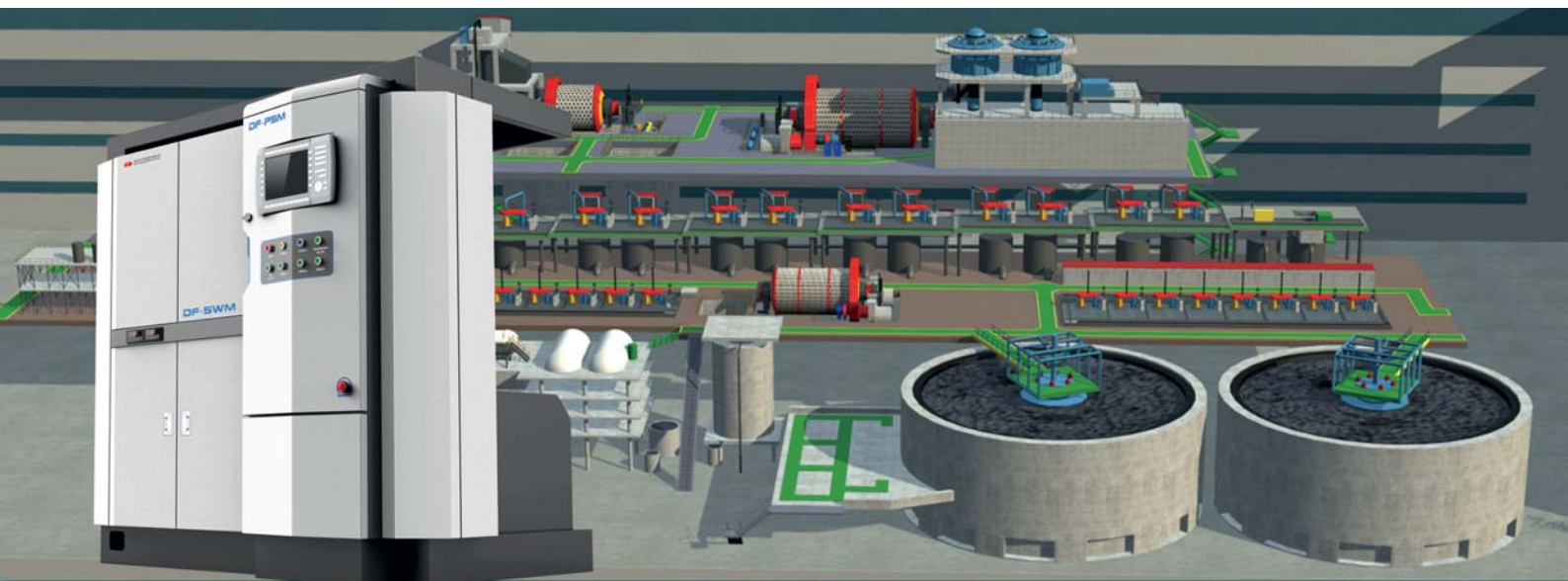
1. Чантурия В. А. Перспективы устойчивого развития горнодобывающей индустрии России // Горный журнал. 2007. № 2. С. 2–9.
2. Михайлов Б. К., Седелникова Г. В., Беневольский Б. И., Романчук А. И. Инновационные технологии переработки упорных и бедных руд золота как основа рационального недропользования // Руды и металлы. 2014. № 1. С. 5–8.
3. Вайсберг Л. А., Круппа П. П., Баранов В. Ф. Основные тенденции развития процессов дезинтеграции руд в XXI веке // Обогащение руд. 2002. № 3. С. 3–10.
4. Чантурия В. А., Бунин И. Ж. Нетрадиционные высокоэнергетические методы дезинтеграции и вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов // ФТПРПИ. 2007. № 3. С. 107–128.
5. Чантурия В. А., Бунин И. Ж., Рязанцева М. В., Филиппова И. В., Копорулина Е. В. Влияние наносекундных электромагнитных импульсов на фазовый состав поверхности, сорбционные и флотационные свойства пирита и арсениопирита // ФТПРПИ. 2011. № 4. С. 108–116.
6. Чантурия В. А., Бунин И. Ж., Рязанцева М. В., Хабарова И. А. Влияние наносекундных электромагнитных импульсов на фазовый состав поверхностных нанообразований, электрохимические, сорбционные и флотационные свойства халькопирита и сфалерита // ФТПРПИ. 2012. № 4. С. 155–164.
7. Чантурия В. А., Бунин И. Ж., Рязанцева М. В., Хабарова И. А., Копорулина Е. В., Апашкина Н. Е. Активация поверхности и направленное изменение физико-химических и технологических свойств галенита при воздействии наносекундных электромагнитных импульсов // ФТПРПИ. 2014. № 3. С. 154–169.
8. Чантурия В. А., Недосекина Т. В., Степанова В. В. Экспериментально-аналитические методы изучения влияния реагентов-комплексобразователей на флотационные свойства платины // ФТПРПИ. 2008. № 3. С. 68–75.
9. Иванова Т. А., Чантурия В. А., Зимбовский И. Г. Новые способы экспериментальной оценки селективности реагентов-собирающих для флотации золота и платины из тонковкрапленных руд благородных металлов // ФТПРПИ. 2013. № 5. С. 127–137.
10. Седелникова Г. В. Практика извлечения золота из упорных руд // Золотодобывающая промышленность. 2014. № 4. С. 12–17.
11. Тарасов А. В., Бочаров В. А. Комбинированные технологии цветной металлургии. — М. : Металлургия, 2001. — 304 с.
12. Садыхов Г. Б. Новые подходы к решению проблем использования комплексного титанового и других видов труднообогатимого сырья России // Институту металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН — 75 лет : сб. науч. тр. / под. ред. К. А. Солнцева. — М. : Интерконтат Наука, 2013. С. 37–59.
13. Седелникова Г. В., Романчук А. И. Эффективные технологии извлечения золота из руд и концентратов // Горный журнал. 2007. № 2. С. 45–50.
14. Фомченко И. В., Муравьев М. И., Кондратьева Т. Ф. Переработка сульфидных концентратов и промпродуктов, содержащих золото и цветные металлы, с применением биогидрометаллургии // Материалы международного совещания «Инновационные процессы комплексной и глубокой переработки минерального сырья» (Плаксинские чтения-2013). — Томск : Изд-во ТПУ, 2013. С. 271–284.
15. Белобородов В. И., Захарова И. Б., Андронов Г. П., Филимонова Н. М., Бармин И. С., Попович В. Ф. Минимизация влияния ковдорских техногенных георесурсов на окружающую среду // Экономическая стратегия развития горнодобывающей отрасли — формирование нового мировоззрения в освоении природных ресурсов : сб. докл. РАН, ГоИ КНЦ РАН. — СПб : Реноме, 2014. С. 235–243.
16. Чантурия В. А. Теория и практика использования электрохимических и радиационных воздействий в процессе первичной переработки минерального сырья // Актуальные проблемы освоения месторождений и использования минерального сырья : сб. ст. — М. : Изд-во МГГУ, 1993. С. 213–226.
17. Чантурия В. А., Горячев Б. Е. Обогащение алмазосодержащих кимберлитов // Горный журнал. 2007. № 2. С. 39–44.
18. Чантурия В. А., Трофимова Э. А., Двойченкова Г. П., Богачев В. Н., Миненко В. Г., Диков Ю. П. Теория и практика применения электрохимического метода водоподготовки с целью интенсификации процессов обогащения алмазосодержащих кимберлитов // Горный журнал. 2005. № 4. С. 51–55.
19. Чантурия В. А., Шадрюнова И. В., Медяник Н. Л., Мишурина О. А. Технология электрофлотационного извлечения марганца из техногенного гидроминерального сырья медно-колчеданных месторождений Южного Урала // ФТПРПИ. 2010. № 3. С. 92–99.
20. Чантурия В. А., Самусев А. Л., Миненко В. Г., Копорулина Е. В., Чантурия Е. Л. Обоснование эффективности использования электрохимической технологии водоподготовки в процессах кучного выщелачивания руд // ФТПРПИ. 2011. № 5. С. 114–123.
21. Чантурия В. А., Миненко В. Г., Двойченкова Г. П. Утилизация оборотной воды хвостохранилища в виде раствора гипохлорита для очистки городских сточных вод // ФТПРПИ. 2007. № 6. С. 109–118.
22. Миненко В. Г. Обоснование и разработка электрохимического метода извлечения сапонита из оборотных вод // ФТПРПИ. 2014. № 3. С. 180–186. **ГЖ**

Чантурия Валентин Алексеевич,
e-mail: vchan@mail.ru

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2015, № 7, pp. 29–37	
Title	Innovation-based processes of integrated and high-level processing of natural and technogenic minerals
DOI	http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.07.05
Author 1	Name & Surname: Chanturia V. A.
	Company: IPKON, Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)
	Work Position: Principal Researcher
	Scientific Degree: Academician of the Russian Academy of Sciences
	Contacts: vchan@mail.ru
Abstract	<p>The state-of-the-art of mineral mining and metallurgy industry in Russia is characterized by high demand of nonferrous, rare and rare earth metals and high-grade coal, on the one hand, and by involvement of natural and technogenic minerals with low content of valuable components, fine (nearly emulsion) dissemination of valuable components and close physicochemical and process properties.</p> <p>This calls for high-productive and ecology-friendly technologies for more efficient mineral beneficiation based on intensification of operating and new methods to extract valuable components from rebellious ore and technogenic minerals, relying on the last achievements of basic sciences, combination of dressing and chemico-metallurgical processes and using advanced pyro- and hydrometallurgical technologies.</p> <p>The transition to a new strategy of processing is only possible based on the new technological–mineralogical appraisal of a mineral raw material. Actually, the process mineralogy has a stock of modern high-resolution physical methods for analyzing composition, structure and properties of geomaterials, inclusive of micro- and nano-levels:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identification of micro- and nano-size noble metals, and natural and induced formations on mineral surface; - Experimental validation of structural phase and chemical transformation of minerals under different energy input; - Justification of choice and mechanism of interaction between flotation agents and noble metals with complex material constitution; - Analysis of structural, phase and chemical transformations of sulfides and rocks under leaching. <p>Thus, process mineralogy is an informational background for a unified theoretical approach to scientific justification of flowsheets of efficient mineral processing. The article gives a brief review of practices that have found application and proved to be of high economic efficiency. Such practices are: X-ray radiometry and photometry separation (Uchalinsky and Gaisky Mining and Processing Integrated Works of ALROSA); selective disintegration (equipment engineered by Mekhanobr-Tekhnika and IPKON RAS); process selectivity enhancement (IPKON RAS, Central Research Institute for Geological Exploration of Nonferrous and Noble Metals, Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch RAS, etc.); bacterial gold leaching (Olimpiada MPW, technologies developed the Central Research Institute for Geological Exploration of Nonferrous and Noble Metals, Nezhdaninsky deposit projects, etc.); combination processing at a mining and metallurgy plant (Norilsk Mining and Metallurgical Company, Yaregsky deposit projects and others); processing of waste: overburden, mill tailings, slag, etc. (Kovdorsky MPW, Svyatogor JSC, Ural Mining and Metallurgical Company, plants designed by the Central Research Institute for Geological Exploration of Nonferrous and Noble Metals, Mining Institute of Kola Science Center RAS, Research Institute for Chemical Technologies); water conditioning in mineral dressing circuits (ALROSA, equipment by IPKON, etc.); utilization of process water (ALROSA, Ural Mining and Metallurgical Company, Severalmaz JSC and others).</p> <p>Thus, Russia this time has the academic and engineering background for development of efficient energy-saving technologies for comprehensive advanced processing in accordance with the world's standards, or even higher in terms of a number of the technologies, which has continually been highlighted by participants of recent international congresses on mineral processing.</p> <p>Full implementation of the technologies in mines and at processing plants in Russia will allow enhancement of metal recovery by 10–15%, worldwide competitive high-quality production, reduced energy consumption, 2–3 times higher labor efficiency, processing of low-grade ore and mining waste, compensation of shortage of some metals (manganese, rare metals, rare earth metals) as well as dramatic improvement of ecological situation in mining regions.</p> <p>This work was carried out with the financial support of the Grant of the President of Russian Federation NSh-748.2014.5 (HШ-748.2014.5) of V. A. Chanturiya leading scientific school</p>
	Keywords
References	1. Chanturiya V. A. Perspektivy ustoychivogo razvitiya gomodobvayushchey industrii Rossii (Prospects of sustainable development of mining industry in Russia). <i>Gornyi Zhurnal = Mining Journal</i> . 2007. No. 2. pp. 2–9.
	2. Mikhaylov B. K., Sedelnikova G. V., Benevol'skiy B. I., Romanchuk A. I. Innovatsionnye tekhnologii pererabotki upornykh i bednykh rud zolota kak osnova ratsionalnogo nedropolzovaniya (Innovation technologies of processing of refractory and base gold ores as the basis of efficient subsoil use). <i>Rudy i metally = Ores and metals</i> . 2014. No. 1. pp. 5–8.
	3. Vaysberg L. A., Kruppa P. P., Baranov V. F. Osnovnye tendentsii razvitiya protsessov dezintegratsii rud v XXI veke (Basic progress trends of ore disintegration processes in the XXI century). <i>Obogashchenie Rud = Mineral processing</i> . 2002. No. 3. pp. 3–10.
	4. Chanturiya V. A., Bunin I. Zh. Netraditsionnye vysokoenergeticheskie metody dezintegratsii i vskrytiya tonkodispersnykh mineralnykh kompleksov (Non-traditional high-energy methods of disintegration and opening of finely dispersed mineral complexes). <i>Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science</i> . 2007. No. 3. pp. 107–128.
	5. Chanturiya V. A., Bunin I. Zh., Ryazantseva M. V., Filippova I. V., Koporulina E. V. Vliyaniye nanosekundnykh elektromagnitnykh impulsov na fazovyy sostav poverkhnosti, sorbtionnyye i flotatsionnyye svoystva pirita i arsenopirita (Nanosecond electromagnetic pulse effect on phase composition of pyrite and arsenopyrite surfaces, their sorption and flotation properties). <i>Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science</i> . 2011. No. 4. pp. 108–116.
	6. Chanturiya V. A., Bunin I. Zh., Ryazantseva M. V., Ryazantseva M. V., Khabarova I. A. Vliyaniye nanosekundnykh elektromagnitnykh impulsov na fazovyy sostav poverkhnostnykh nanobrazovaniy, elektrokhimicheskie, sorbtionnyye i flotatsionnyye svoystva khalkopirita i sfalerita (Influence of nanosecond electromagnetic pulses of the phase composition of surface nanostructures. Electrochemical, sorption and flotation properties of chalcopyrite and sphalerite). <i>Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science</i> . 2012. No. 4. pp. 155–164.
	7. Chanturiya V. A., Bunin I. Zh., Ryazantseva M. V., Khabarova I. A., Koporulina E. V., Apashkina N. E. Aktivatsiya poverkhnosti i napravlennoe izmeneniye fiziko-khimicheskikh i tekhnologicheskikh svoystv galenita pri vozdeystvii nanosekundnykh elektromagnitnykh impulsov (Surface activation and induced change of physicochemical and process properties of galena by nanosecond electromagnetic pulses). <i>Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science</i> . 2014. No. 3. pp. 154–169.
	8. Chanturiya V. A., Nedosekina T. V., Stepanova V. V. Eksperimentalno-analiticheskie metody izucheniya vliyaniya reagentov-kompleksoobrazovatelye na flotatsionnyye svoystva platiny (Experimental-analytical methods of investigation into the effect of complexing reagents on platinum flotation). <i>Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science</i> . 2008. No. 3. pp. 68–75.
	9. Ivanova T. A., Chanturiya V. A., Zimbovskiy I. G. Novyye sposoby eksperimentalnoy otsenki selektivnosti reagentov-sobirateley dlya flotatsii zolota i platiny iz tonkovkraplennykh rud blagorodnykh metallov (New experimental evaluation techniques for selectivity of collecting agents for gold and platinum flotation from fine-impregnated noble metal ores). <i>Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science</i> . 2013. No. 5. pp. 127–137.
	10. Sedelnikova G. V. Praktika izvlecheniya zolota iz upornykh rud (Practice of gold extraction from refractory ores). <i>Zolotodobvayushchaya promyshlennost = Gold mining</i> . 2014. No. 4.
	11. Tarasov A. V., Bocharov V. A. <i>Kombinirovannyye tekhnologii tsvetnoy metallurgii</i> (Combined technologies of non-ferrous metallurgy). Moscow : Metallurgiya, 2001. 304 p.

References

12. Sadykhov G. B. Novye podkhody k resheniyu problem ispolzovaniya kompleksnogo titanovogo i drugih vidov trudnoobogatimogo syrja Rossii (New approaches to the problem solving of usage of complex titanium and other refractory ore types in Russia). Institutu metallurgii i materialovedeniya imeni A. A. Baikova Rossiyskoy Akademii Nauk – 75 let : sbornik nauchnykh trudov (The 75-th anniversary of A. A. Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science (Russian Academy of Sciences) : collection of scientific proceedings). Under the editorship of Academician K. A. Solntsev. Moscow : Interkontakt Nauka, 2013. pp. 37–59.
13. Sedelnikova G. V., Romanchuk A. I. Effektivnye tekhnologii izvlecheniya zolota iz rud i kontsentratov (Efficient technologies of gold extraction from ores and concentrates). *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*. 2007. No. 2. pp. 45–50.
14. Fomchenko I. V., Muravev M. I., Kondrateva T. F. Pererabotka sulfidnykh kontsentratov i promproduktov, soderzhashchikh zoloto i tsvetnyye metally, s primeneniem biogidrometallurgii (Processing of sulfide concentrates and middlings, containing gold and non-ferrous metals, with application of biogidrometallurgy). *Materialy Mezhdunarodnogo soveshchaniya «Innovatsionnye protsessy kompleksnoy i glubokoy pererabotki mineralnogo syrja»* (Plaksin readings-2013) (Materials of International meeting «Innovation processes of complex and deep processing of minerals (Plaksin readings-2013)). Tomsk : Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2013. pp. 271–284.
15. Beloborodov V. I., Zakharova I. B., Andronov G. P., Filimonova N. M., Barmin I. S., Popovich V. F. Minimizatsiya vliyaniya kovdorskikh tekhnogennykh georesursov na okruzhayushchuyu sredu (Minimization of environmental influence of Kovdor anthropogenic georesources). *Ekonomicheskaya strategiya razvitiya gornodobyvayushchey otrasli – formirovaniye novogo mirovozzreniya v osvoenii prirodnykh resursov : sbornik dokladov Rossiyskoy Akademii Nauk* (Economic strategy of mining industry development – formation of new outlook in natural resources mastering : collection of reports of Russian Academy of Sciences). Mining Institute of Kola Science Center of Russian Academy of Sciences. Saint Petersburg : Renome, 2014. pp. 235–243.
16. Chanturiya V. A. Teoriya i praktika ispolzovaniya elektrokhimicheskikh i radiatsionnykh vozdeystviy v protsesse pervichnoy pererabotki mineralnogo syrja (Theory and practice of application of electrochemical and radioactive effects during primary processing of minerals). *Aktualnye problemy osvoeniya mestorozhdeniy i ispolzovaniya mineralnogo syrja : sbornik statey* (Urgent problems of deposit mastering and mineral use : collection of articles). Moscow : Publishing House of Moscow State Mining University, 1993. pp. 213–226.
17. Chanturiya V. A., Goryachev B. E. Obogashcheniye almazosoderzhashchikh kimberlitov (Concentration of diamond-bearing kimberlites). *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*. 2007. No. 2. pp. 39–44.
18. Chanturiya V. A., Trofimova E. A., Dvoychenkova G. P., Bogachev V. N., Minenko V. G., Dikov Yu. P. Teoriya i praktika primeneniya elektrokhimicheskogo metoda vodopodgotovki s tselyu intensivatsii protsessov obogashcheniya almazosoderzhashchikh kimberlitov (Theory and practice of application of electrochemical water-preparation method for the purpose of intensification of diamond-bearing kimberlite concentration processes). *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*. 2005. No. 4. pp. 51–55.
19. Chanturiya V. A., Shadrinova I. V., Medyanik N. L., Mishurina O. A. Tekhnologiya elektroflotatsionnogo izvlecheniya margantsa iz tekhnogennoy gidromineralnogo syrja medno-kolchedannykh mestorozhdeniy Yuzhnogo Urala (Electric flotation extraction of manganese from hydromineral wastes at yellow copper deposits in the South Ural). *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2010. No. 3. pp. 92–99.
20. Chanturiya V. A., Samusev A. L., Minenko V. G., Koporulina E. V., Chanturiya E. L. Obosnovaniye effektivnosti ispolzovaniya elektrokhimicheskoy tekhnologii vodopodgotovki v protsessakh kuchnogo vshchelachivaniya rud (Validation of the efficient application of the electrochemical water processing in ore heap leaching). *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2011. No. 5. pp. 114–123.
21. Chanturiya V. A., Minenko V. G., Dvoychenkova G. P. Utilizatsiya oborotnoy vody khvostokhranilishcha v vide rastvora gipokhlorita dlya oчитki gorodskikh stochnykh vod (Utilization of recycled water of tailing dump in the form of hydrochlorite solution for purification of urban waste waters). *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2007. No. 6. pp. 109–118.
22. Minenko V. G. Obosnovaniye i razrabotka elektrokhimicheskogo metoda izvlecheniya saponita iz oborotnykh vod (Justification and design of electrochemical recovery of saponite from recycled water). *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2014. No. 3. pp. 180–186.



DF-PSM Ультразвуковой онлайн-гранулометр

- Точность: абсолютная погрешность менее 1.0%(1σ)-
- Точность измерения концентрации: абсолютная погрешность менее 1.0%(1σ)-
- Характеристика приспособления к пульпе: коррозионная пульпа: pH значение до 12,5.
- Расход в установке отбора проб: от 32 до 75 л. в минуту (2,0-4,5м³ / ч).
- концентрация пульпы: массовая концентрация в процентах 4- 60%;
- Температура пульпы 0~50°C;
- Содержание твердых веществ: от 2.0 до 5.5 г/см³
- Температура окружающей среды: от -10 до +50 °C;
- Относительная влажность: до 98% без конденсации;
- Виброустойчивость: не более 10 г при 20 Гц

Компания DFMC предлагает решение процесса автоматизации горного производства и имеет поточное промышленное контрольно-измерительное оборудование мирового уровня.

Email:sch@dfmc.cc

Сайт <http://ru.dfmc.cc>

Телефон+864153862252

Факс:+864153860256

Сотовый номер телефона директора по продажам

+8613942560753---Владимир shaoxiaowen@dfmc.cc

Скайп:dfmcsxw

+8615842525537---Виктория wangxiuli@dfmc.cc

Скайп:chinaddwxl

