

# ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ – ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УПОРНЫХ И БЕДНЫХ РУД БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

ФГУП «ЦНИГРИ»

Седельникова Галина Васильевна  
gsedelnikova@mail.ru

Романчук Александр Ильич  
romantchouk@yandex.ru

Ким Дмитрий Хаксунович

Савари Евгения Евгеньевна

Ивановская Виктория Петровна

Никулин Александр Иванович

EFFICIENT ORE PROCESSING TECHNIQUES AS A BASIS OF PROGRESS IN INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF RESISTANT AND LOW-GRADE ORES OF PRECIOUS AND BASE METALS

G.V.Sedelnikova

A.I.Romanchuk

D.Kh.Kim

E.E.Savari

V.P.Ivanovskaya

A.I.Nikulin

Снижение качества минерального сырья – повышение доли бедных и упорных руд, для которых применение традиционных технологий малоэффективно, обуславливает необходимость разработки новых более совершенных методов переработки руд, обеспечивающих получение высоких показателей извлечения ценных и попутных компонентов, снижение затрат на их переработку и охрану окружающей среды. Использование эффективных технологий позволяет повысить инвестиционную привлекательность месторождений и ускорить темпы их освоения.

В ЦНИГРИ разрабатываются и широко используются прогрессивные методы и мето-

*Приведены результаты исследований по разработке эффективных технологий переработки упорных и бедных руд благородных и цветных металлов с применением методов крупнокусковой фотометрической сепарации, кучного выщелачивания золота, бактериального окисления упорных золотосодержащих концентратов, кучного бактериального окисления упорных золото-сульфидных руд и техногенных отходов, ультразвуковой обработки.*

*Ключевые слова: упорные, бедные руды, концентраты, техногенные отходы, фотометрическая сепарация, кучное выщелачивание, бактериальное окисление, ультразвуковая обработка.*

*Results of development of the resistant and low-grade base and precious metal ore processing techniques and methods using the photometric separation and heap leaching of gold, bacterial oxidation of resistant gold concentrate, bacterial heap leaching of resistant Au-sulfide ore and the ultrasonic treatment refuse materials.*

*Key words: resistant low-grade ore, concentrate, technologic refuse, photometric separation, heap leaching, bacterial oxidation, ultrasonic treatment.*

дики определения содержания и извлечения благородных и цветных металлов из руд: предварительное гравитационное обогащение геологических проб со свободным золотом, крупнокусковая радиометрическая сепарация, биогидрометаллургическая переработка упорных руд и концентратов, комплексная гидрометаллургическая переработка глубоководных руд Мирового океана, кучное выщелачивание благородных и цветных металлов из руд и техногенного сырья, в том числе в сочетании с бактериальным окислением сульфидных минералов и различными видами энергетических воздействий.

*Определение содержания благородных металлов в рудах со свободным золотом.* Необходимость создания методики определения содержания благородных металлов в рудах со свободным золотом обусловлена значительным расхождением результатов параллельных определений содержания золота в рудах пробирным анализом вследствие присутствия относительно крупных частиц самородного золота и его неравномерным распределением при отборе аналитических навесок – «эффект самородка». Для устранения влияния «эффекта самородка» в ЦНИГРИ разработана и широко применяется методика предварительного гравитационного концентрирования крупного золота [9].

Методика характеризуется простой технологической и аппаратурной схемой, пригодна при массовых анализах геологических проб руд и продуктов их обогащения и предусматривает выполнение основных операций – измельчения и гравитационного концентрирования. Измельчение дробленой руды массой не менее 4 кг до крупности 85–90% класса 100 мкм осуществляется в непрерывной кольцевой мельнице. Гравитационное концентрирование проводится в разработанной и изготовленной в институте установке на базе центробежно-прецессионного концентратора «Бегущая волна» (Патент РФ № 2136373 от 27.05.1998 г.). Измельченная руда загружается в контактный чан, откуда в виде пульпы непрерывно подается в концентратор. Тяжелые минералы руды, в том числе свободное золото, накапливаются на днище чаши. Хвосты гравитации непрерывно разгружаются по периметру верхней окружности чаши, оборудованной пробоотборником, который обеспечивает разделение представительной пробы хвостов с частотой 135 раз/мин. Масса отбираемой пробы составляет 10–12% от общей массы хвостов гравитации. Это избавляет от необходимости обезвоживания и сушки всего объема полученных хвостов. Расчет содержания золота в исходной руде проводится по балансу его количества в продуктах концентрирования.

Определение золота из укрупненных навесок по методике гравитационного концентрирования позволяет существенно повысить прецизионность анализов руд с крупным золотом по сравнению с традиционным методом прямой пробирной плавки. Методика гравитационного концентрирования свободного золота издана и успешно применяется в ЦНИГРИ и на предприятиях от-

расли, в частности при разведке Дегдеканского, Федоровско-Кедровского, Тарынского, Базовского рудных полей, Нижне-Чиримбинского рудного узла, месторождений Кекура, Хужир и др. Методика внедрена в лабораториях горнодобывающих предприятий – ОАО «Рудник им. Матросова», ОАО «Рудник Каральвеем», ЗАО «Горно-рудная компания «Западная» и др.

*Крупнокусковая радиометрическая сепарация.* В настоящее время около 70% доказанных запасов золота сосредоточены в резервных большеобъемных месторождениях углеродисто-терригенных комплексов с низким содержанием Au в рудах порядка 1,7–2,4 г/т. Для эффективного освоения таких месторождений требуется применение современных технологий на всех стадиях добычи и переработки руды.

На стадии обогащения руд наибольшие расходы связаны с энергетическими затратами на дробление и измельчение сырья. Улучшение технико-экономических показателей переработки руд возможно на основе применения предварительного крупнокускового обогащения, которое позволяет отделить от общей массы добытого сырья до 70% хвостов с отвальным содержанием полезных компонентов. Соответственно, снижаются количество поступающей на глубокое обогащение руды и затраты на ее переработку. Кроме того, существенно уменьшаются объем складированных в хвостохранилище продуктов обогащения и их негативное воздействие на окружающую среду.

Крупнокусковое обогащение руд основано на разделении породных и рудных минералов по способности испускать, отражать или поглощать различные виды излучения. Для крупнокусковой сепарации применяются радиометрические сепараторы различного принципа действия. Известно >30 методов радиометрического обогащения минерального сырья. Наиболее распространена рентгенорадиометрическая сепарация, основанная на различной энергии и интенсивности рентгеновской флюоресценции элементов.

В последние годы с учетом достижений в области микропроцессорной техники и компьютерных технологий созданы современные промышленные фотометрические сепараторы, обеспечивающие разделение минерального сырья крупностью от 250 до 5 мм по цветовым признакам, форме и симметрии. Поток руды сканируется высокоскоростной камерой. Компьютерная программа обработки изображения оце-

нивает куски руды по нескольким параметрам: размеру, форме, площади, положению в пространстве, соотношению площадей различных цветовых характеристик на поверхности и дает команду на выделение блоков заданных параметров из общего потока руды. Для этой цели установки фотометрической сепарации оборудованы форсунками с быстродействующими воздушными клапанами. Сепараторы имеют производительность до 350 т/ч и способны решать задачи крупнокускового обогащения руд при промышленной отработке крупных месторождений. Фотометрическая сепарация положительно зарекомендовала себя на горных предприятиях Финляндии, ЮАР, Австралии, США и Канады.

Разработаны методические рекомендации по определению возможности крупнокускового обогащения руд благородных металлов на ранних стадиях геологического изучения недр. Исследования проводятся на пробах массой от 300 кг до 3 т. В процессе работ устанавливаются контрастность руды, признаки ее разделения фотометрическим и рентгенорадиометрическим методами (последний используется с привлечением специалистов ФГУП «ВИМС»), осуществляются наработка опытной партии обогащенного продукта и его глубокое обогащение с определением технологических показателей и режимных параметров. Полученные результаты служат основой для разработки оптимальной технологической схемы переработки руды и выполнения технико-экономических расчетов. В течение последних лет в лабораториях ЦНИГРИ исследованы руды ряда разведываемых и эксплуатируемых месторождений, в том числе крупных – Сухой Лог и Наталкинское [7].

Технико-экономические расчеты показали, что ожидаемый экономический эффект от использования технологии фотометрической сепарации при переработке 10 млн т руды, содержащей 1,56 г/т Au, в случае предварительного отделения 40% хвостов с отвальным содержанием золота, составляет 493 руб. на 1 г производимого золота.

**Кучное выщелачивание золота.** Кучное выщелачивание (КВ) характеризуется низкими затратами и позволяет значительно укрепить сырьевую базу и увеличить добычу благородных металлов за счет вовлечения в промышленную эксплуатацию руд небольших месторождений, бедных и забалансовых руд, отходов горно-обогатительного производства, переработка кото-

рых по традиционной фабричной технологии нерентабельна. Этот метод используется за рубежом в промышленной практике с начала 70-х годов. Сегодня около 40% мировой золотодобычи приходится на технологию КВ.

Достигнутый в России уровень развития КВ обеспечивает работу примерно 25 действующих производств в разных регионах, преимущественно на Центральном и Южном Урале, юге Сибири и Дальнего Востока, в Якутии. Производительность предприятий составляет от 100 тыс. т до 1,5 млн т руды в год при средних содержаниях Au 0,9–1,3 г/т.

ЦНИГРИ накоплен значительный опыт по исследованию золотосодержащих руд, кор выветривания и техногенного сырья (хвостов обогащения, отвалов горных пород и пр.) с применением метода КВ [5]. Разработанные технологии использованы при промышленном освоении рудных и техногенных месторождений золота Колорадо (Южный Урал), Лопуховское (Республика Саха Якутия), Воронцовское (Свердловская область), Кузнецовское (Хабаровский край) и др.

В последние годы применительно к разведываемым объектам с низким содержанием Au (0,9–1,8 г/т) Любавинское (Забайкалье), Гросс (Республика Саха Якутия), Полянка (Хабаровский край) в ЦНИГРИ определены оптимальные технологические режимы кучного выщелачивания и получены достаточно высокие показатели по извлечению золота из бедных руд (на уровне 65–88%), позволившие рекомендовать данную технологию для опытно-промышленных испытаний. Разработанные технологические регламенты положены в основу создания промышленных установок КВ на перечисленных объектах.

*Биогидрометаллургическая технология переработки упорных руд и концентратов (чановое выщелачивание).* В структуре запасов золота России значительную часть (64%) занимают месторождения коренных руд золота, из которых >50% приходится на упорные руды с тонковкрапленным золотом. Применение традиционной технологии цианирования для таких руд малоэффективно, извлечение золота не превышает 10–50%.

В мировой практике переработки упорных руд в качестве одного из эффективных способов извлечения благородных металлов применяется чановое бактериальное выщелачивание – биоокисление золотосодержащих сульфидов (ЮАР, Австралия, Китай, Россия, Казахстан, Узбекистан и др.).

В ЦНИГРИ разработана экологически безопасная технология чанового бактериального выщелачивания для извлечения благородных металлов из упорных руд и концентратов ряда месторождений РФ, в том числе крупных – Олимпиадинское, Майское, Нежданнинское, Кючус [8]. Разработанный технологический регламент биогидрометаллургической переработки упорных концентратов Олимпиадинского месторождения использован при проектировании на нем первой в России биоустановки. Вклад института в совместную с ЗАО «ЗК «Полюс» работу «Создание в условиях Крайнего Севера высокотехнологичного производства по добыче и переработке золото-содержащих руд при промышленном освоении месторождения Олимпиадинское» отмечен Премией Правительства РФ в области науки и техники.

В настоящее время биогидрометаллургическая технология наиболее востребована в мире. Построено >20 биозаводов по переработке упорных золотосодержащих руд и концентратов. Семь из них за последние 10 лет сооружены в Китае. Это позволило ему освоить крупные месторождения с упорными рудами и выйти на первое место в мире по добыче золота.

В России промышленное освоение альтернативной автоклавной технологии окисления золото-сульфидных концентратов столкнулось с целым рядом трудностей. Отечественное сырье имеет сложный состав: высокое содержание хлор-ионов и сорбционно-активного природного органического углерода в пульпе автоклавного выщелачивания, приводящее к растворению «вскрытого» золота, его сорбции на природный уголь и потерям с хвостами, а также высокое содержание сульфидной серы, осложняющее процессы автоклавного окисления и последующей гидрометаллургической переработки остатков биовыщелачивания. Поэтому на действующем в РФ Амурском автоклавном гидрометаллургическом комбинате ГК «Полиметалл» перерабатывается только относительно простой по составу концентрат Албазинского месторождения, а высокоупорный Майского месторождения (Чукотка) отправляется в Китай.

С учетом сложного состава отечественных руд и наибольшей распространенности в мире технологии бактериального выщелачивания последняя является наиболее перспективной, экономически выгодным и экологически безопасным методом извлечения благородных металлов из упорного сырья.

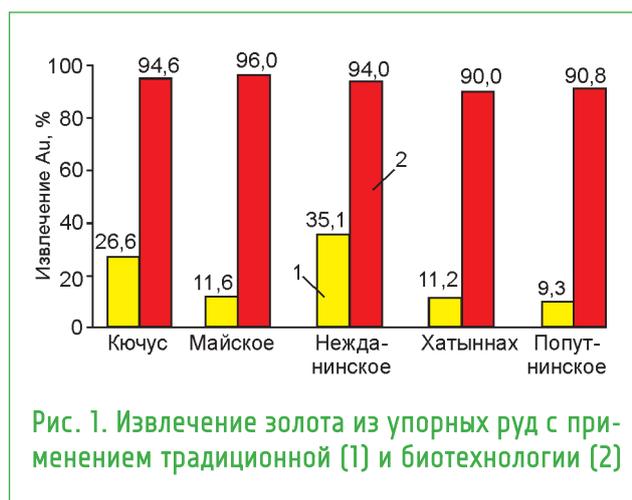


Рис. 1. Извлечение золота из упорных руд с применением традиционной (1) и биотехнологии (2)

В ЦНИГРИ с использованием последних достижений в области микробиологии разработаны научные основы процесса биоокисления упорных золотосодержащих сульфидов. Применение высокоактивной ассоциации, включающей мезофильные и умеренно-термофильные бактерии, способно обеспечивать высокую степень окисления основных золотосодержащих сульфидов – арсенопирита и пирита – даже при очень высоких (до 60–90%) содержаниях их в концентратах и наличии высокоактивного органического углерода (до 2,9–4,5%).

По сравнению с традиционной цианидной применением биогидрометаллургической технологии переработки упорных концентратов месторождений Майское, Кючус, Попутнинское, Хатыннах, Хатчан, Дразное, Кутынское, Змеиное, Наледное и др. позволяет повысить извлечение золота с 9–35 до 90–96% (рис. 1), а также перевести мышьяк в нетоксичную форму – труднорастворимые арсенаты железа, пригодные к складированию в хвостохранилище [6].

Технико-экономические расчеты, выполненные на основе данных технологических регламентов биогидрометаллургической технологии, свидетельствуют о высокой эффективности ее использования. Вовлечение в эксплуатацию крупных месторождений с упорными рудами позволит значительно увеличить добычу золота в России.

*Кучное бактериальное окисление (выщелачивание) упорных руд и техногенного сырья.* В ЦНИГРИ для упорного и бедного сырья разработана технология биоокисления золотосодержащих сульфидов в условиях низкзатратного кучного

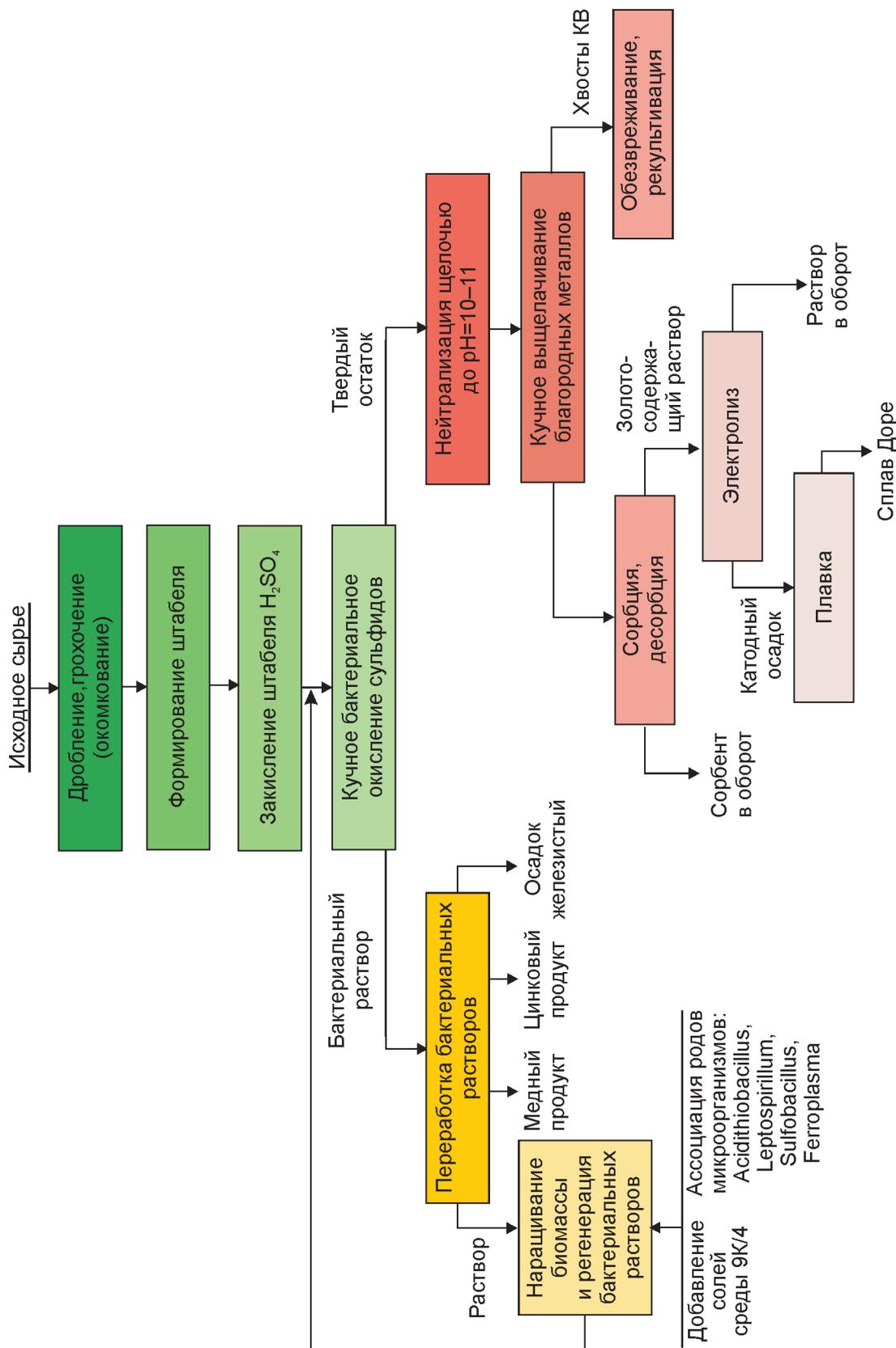


Рис. 2. Технологическая схема переработки упорного сульфидного золотосодержащего сырья с применением метода кучного бактериального вскрытия благородных металлов

выщелачивания, которое широко применяется в промышленности для извлечения благородных металлов из руд с низким содержанием золота. Исследованиями установлено, что кучное бактериальное выщелачивание может эффективно применяться не только для упорных сульфидных руд золота, но и для полиметаллических руд и хвостов их обогащения [1].

Разработанная технологическая схема кучного бактериального выщелачивания включает следующие узлы (рис. 2):

предварительная рудоподготовка (дробление, грохочение, окомкование, укладка рудного штабеля);

закисление штабеля серной кислотой, кучное биоокисление сульфидов с переводом цветных металлов в серноокислый раствор и вскрытием упорного золота;

переработка серноокислых растворов с получением товарной продукции цветных металлов;

нейтрализация твердых остатков кучного биоокисления сульфидов и кучное выщелачивание золота цианидным раствором;

извлечение золота из цианидных растворов в сплав Доре;

обезвреживание и рекультивация хвостов выщелачивания.

В сравнении с результатами традиционного цианидного выщелачивания применение рекомендуемой схемы повышает извлечение золота и серебра из упорных сульфидных руд Левобережного рудного поля (Кабардино-Балкарская Республика) с 28–30 до 84–85%, а из техногенных хвостов флотации полиметаллических руд – с 33 до 82%. Одновременно решается задача извлечения цветных металлов в товарную продукцию. Технико-экономические расчеты показали, что экономический эффект от использования технологии кучного бактериального выщелачивания сульфидной руды с содержанием Au 2,6, Ag 40,7 г/т, Cu 0,61, Zn 1,15% возрастет по сравнению с традиционной флотационно-цианидной схемой и составит 252 руб. на 1 тонну добываемой руды.

*Ультразвуковая обработка руд.* В научных публикациях последних лет обсуждается возможность применения электрофизических воздействий в импульсной форме (ультразвуковой, электроимпульсной и магнитно-импульсной) на разупрочнение рудной массы и раскрытие ценного компонента. Наиболее приспособлен к про-

мышленному использованию в горнорудной отрасли метод ультразвуковой обработки.

В институте проведены исследования по определению влияния ультразвуковой обработки (УЗО) на технологические показатели извлечения полезных компонентов в процессах обогащения минерального сырья. В результате выявлены основные направления использования этого метода в технологических схемах переработки руд благородных и цветных металлов:

при цианировании золотосодержащего сырья; во флотационных переделах обогащения труднообогатимых руд благородных и цветных металлов;

в процессах кучного выщелачивания золотосодержащих руд.

Установлено, что с применением ультразвуковой обработки при цианировании малосульфидной золотосодержащей руды извлечение полезных компонентов повышается на 23,61%, а при флотации серебро-полиметаллической руды серебра и цветных металлов – на 3–8%.

На рисунках 3 и 4 показана эффективность применения ультразвуковой обработки рабочих цианидных растворов в процессе кучного выщелачивания окисленной золотосодержащей руды Левобережного рудного поля. Установлено, что средняя концентрация Au в продуктивных растворах при УЗО увеличивается до 4,49 мг/л против 3,58 мг/л без УЗО. Скорость растворения золота также возрастает и, соответственно, сокращается продолжительность кучного выщелачивания с 13 до 10 сут (при минимальной концентрации Au в растворе <0,02 мг/л). Удельный расход растворителя – цианида натрия – уменьшается с 3,22 до 2,64 кг/т при равном извлечении золота в продуктивные растворы (84,65 и 84,69%), соответственно с применением и без УЗО.

Ожидаемый экономический эффект от применения ультразвуковой обработки рабочих растворов при кучном выщелачивании золота из окисленной руды составляет 8,9 млн руб. при производительности предприятия 300 тыс. т руды в год.

*Комплексное использование глубоководного минерального сырья.* Россия, наряду с другими странами, ведет работы по подготовке к освоению глубоководных месторождений минерального сырья: железомарганцевых конкреций (ЖМК), кобальт-марганцевых рудных корок (КМК) и глубоководных полиметаллических сульфидов (ГПС).

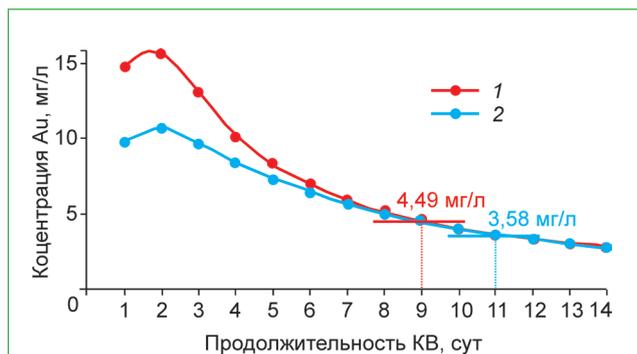


Рис. 3. Изменение концентрации золота в продуктивных растворах при КВ окисленной руды с применением ультразвуковой обработки (УЗО) рабочих растворов:

средняя концентрация Au: 1 – с УЗО, 2 – без УЗО

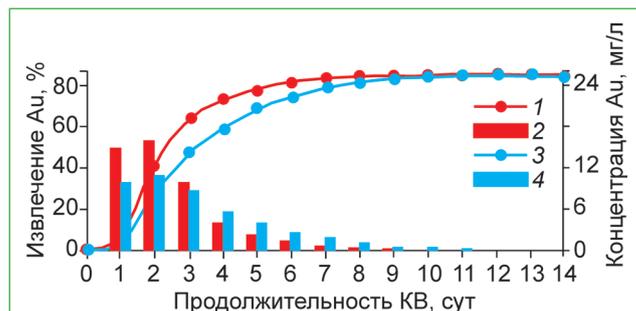


Рис. 4. Кинетика извлечения золота при КВ окисленной руды с применением ультразвуковой обработки (УЗО) рабочих растворов:

1 – извлечение Au в продуктивные растворы (УЗО); 2 – поцикловая концентрация Au в продуктивных растворах (УЗО); 3 – извлечение Au в продуктивные растворы (без УЗО); 4 – поцикловая концентрация Au в продуктивных растворах (без УЗО)

С начала 80-х годов по настоящее время ЦНИГРИ работает над созданием технологии извлечения полезных компонентов из ЖМК и КМК. Основной объем исследований выполнен на пробах руд, добытых с закрепленного за Россией участка дна поля Кларион-Клиппертон. Среднее содержание главных металлов – Cu 1,05, Ni 1,2, Co 0,22, Mn 29,7, Fe 5,7%, попутных компонентов – Mo 0,067%, Pt 0,19 г/т. Содержание редкоземельных элементов (преимущественно Ce) 280, в отдельных пробах до 1400 г/т.

В результате специалистами ЦНИГРИ разработана и запатентована проверенная в полупромышленных условиях гидрометаллургическая технология переработки ЖМК, включающая выщелачивание полезных компонентов сернистым ангидридом с последующим селективным извлечением цветных металлов и марганца из продуктивных растворов в концентраты (Патент РФ № 2231569 от 03.02.03). Извлечение металлов в концентраты составляет: Cu 89–90, Ni и Co 93–94, Mn 97–98%. В сотрудничестве с рядом организаций разработаны технологии производства из полученных концентратов металлической меди, никеля, кобальта, электротермического марганца и его ферросплавов. Установлена возможность производства из промежуточных продуктов гидрометаллургической переработки ЖМК катализаторов и комплексных минеральных удобрений с микроэлементами (рис. 5).

Технология ЦНИГРИ подтвердила свою эффективность при выполнении исследований по

переработке ЖМК по контрактам с Совместной организацией Интерокеанметалл (СО ИОМ, Польша). В соответствии с результатами сравнительных расчетов вариантов технологических схем переработки ЖМК, проведенных проектной организацией VAT Engineering (Словакия), технология ЦНИГРИ признана наиболее эффективной.

Особенность вещественного состава КМК – более низкое, по сравнению с ЖМК, содержание Ni 0,41–0,46, Cu 0,12–0,13 и Mn 19,0–22,6% при более высоком содержании Co 0,54–0,63%. Переработка КМК по гидрометаллургической технологии также обеспечивает высокое извлечение в концентраты цветных металлов и марганца [10].

Значительный объем работ выполнен по изучению сорбционных свойств ЖМК и КМК. Установлено, что глубоководное железомарганцевое сырье, являясь эффективным сорбентом, может использоваться для очистки сточных вод от тяжелых цветных металлов и цианидов [4].

В ЦНИГРИ разработана и запатентована технология очистки газов от сернистого ангидрида сухими ЖМК и пульпой, содержащей ЖМК [3]. Исследованиями по применению ЖМК для очистки газов металлургических, химических и энергетических производств установлено, что степень очистки превышает 99%, содержание токсичного SO<sub>2</sub> в газах после очистки соответствует санитарным нормам. Одновременно решаются задачи перевода марганца и цветных металлов в хорошо растворимые соединения и их дальнейшего извлечения в товарные металлы.

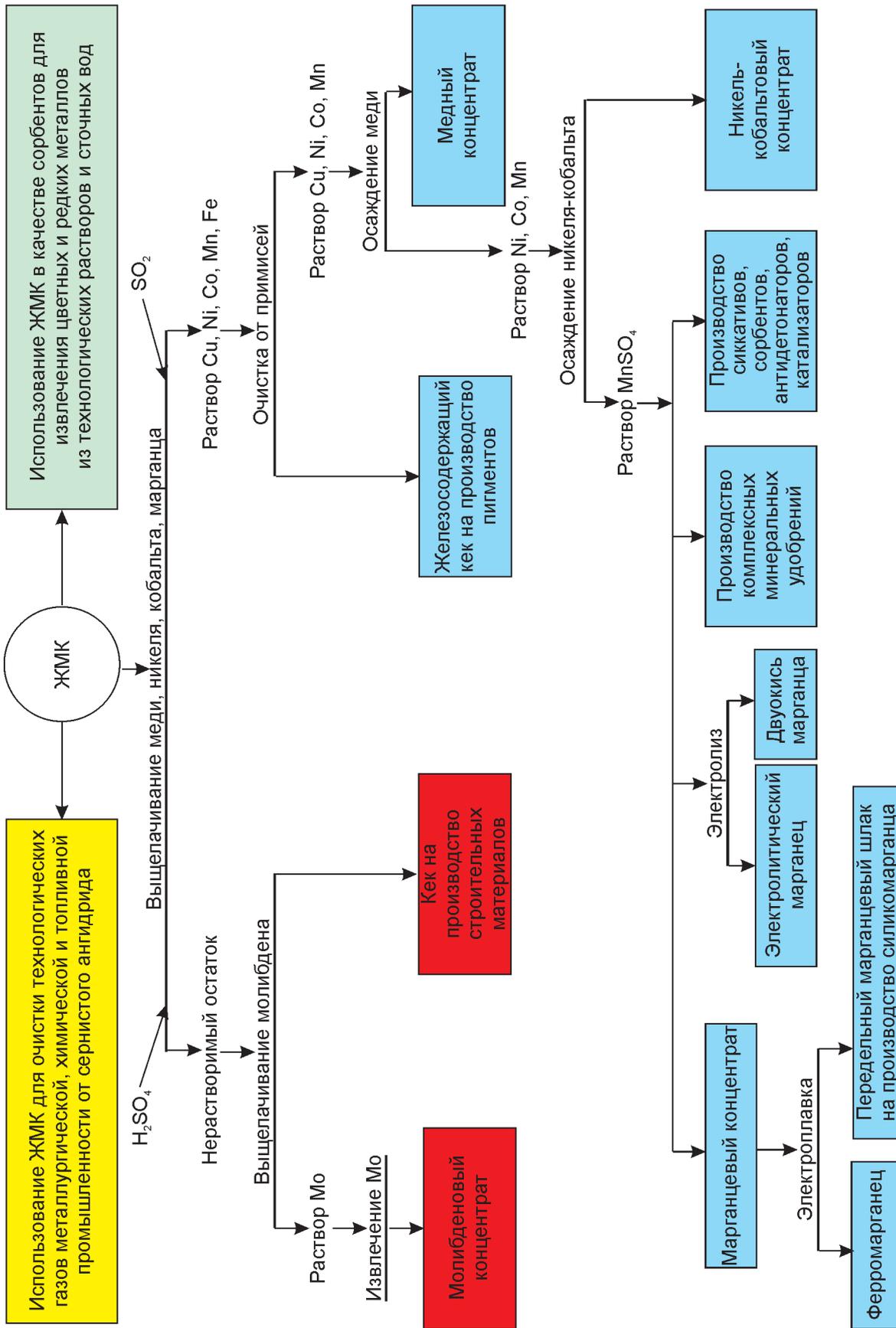


Рис. 5. Принципиальная схема комплексного использования ЖМК

Результаты работ института в области металлургической переработки ЖМК и КМК свидетельствуют о несомненной перспективности данного вида сырья для удовлетворения потребностей страны в таких стратегических металлах, как медь, никель, кобальт и марганец. Кроме того, это сырье имеет перспективы применения для решения ряда экологических проблем.

Большая часть активных гидротермальных полей с месторождениями ГПС приурочена к срединно-океаническим хребтам – осевой зоне Восточно-Тихоокеанского Поднятия и рифтовой долине Срединно-Атлантического хребта.

Исследование вещественного состава и разработка технологических схем извлечения полезных компонентов из ГПС комплексного минерального сырья в ЦНИГРИ являются составной частью программы изучения ГПС Полярной Морской геологоразведочной экспедицией. Основные полезные компоненты руд – медь, цинк и драгоценные металлы. Присутствующие в рудах сфалерит, халькопирит, пирит, марказит, изокубанит чаще всего представляют собой тончайшие взаимные ассоциации. Сульфидные минералы характеризуются наличием пленочных покрытий поверхности в виде гидросульфатных, гидрокарбонатных, гидросиликатных соединений меди, цинка и железа. Это ограничивает возможность применения традиционных флотационных схем для обогащения ГПС. Для переработки данного вида глубоководного минерального сырья рекомендована комбинированная гидрометаллургическая технология, включающая обжиг руды при температуре 650°C, серноокислотное выщелачивание огарка с переводом в раствор 96–98% меди и цинка с последующим извлечением цветных металлов из продуктивных растворов с использованием химических и (или) экстракционных процессов [2]. По рекомендуемой технологической схеме получены кондиционные медные и цинковые концентраты. Выполнены исследования по определению возможности извлечения из ГПС попутных компонентов. Установлено, что благородные металлы полностью остаются в кеках серноокислотного выщелачивания огарков, из которых извлекаются сорбционным цианированием. Извлечение золота из кека составляет 86%, серебра – 45%. Кеки гидрометаллургического передела содержат до 60% Fe, <1% суммы цветных металлов и могут рассматриваться как сырье для черной металлургии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кучное* бактериальное выщелачивание упорной золото-сульфидной руды / Д.Х.Ким, Г.В.Седельникова, Н.В.Ибрагимова и др. // Мат-лы Междунар. совещания «Плаксинские чтения. 2014». Алматы. 2014. С. 34–38.
2. Романчук А.И., Ивановская В.П. Результаты изучения технологических проб глубоководных полиметаллических сульфидов // Тр. совещания в ФГУП ВИМС 19–20 января 2011 г. «Современные методы изучения вещественного состава глубоководных полиметаллических сульфидов Мирового океана». 2013. С. 241–249.
3. Романчук А.И., Кошель Д.Я., Королев А.Б. Использование глубоководных железомарганцевых конкреций для очистки газов от сернистого ангидрида // Руды и металлы. 2004. № 4. С. 58–65.
4. Романчук А.И., Кошель Д.Я., Королев А.Б. Применение железомарганцевых конкреций Мирового океана для решения экологических задач // Геоэкологические исследования и охрана недр. Науч.-техн. информ. сб. М., 2003. Вып. 2. С. 41–52.
5. Седельникова Г.В. Кучное выщелачивание. Состояние и перспективы развития // Драгоценные металлы и камни. 2001. № 3 (87). С. 77–78.
6. Седельникова Г.В. Сравнение автоклавного и бактериального выщелачивания // Золото и технологии. 2014. № 2 (24). С. 110–115.
7. Седельникова Г.В., Романчук А.И. Переработка руд благородных и цветных металлов с применением инновационных технологий // Горный журнал. 2010. № 2. С. 18–22.
8. Седельникова Г.В., Савари Е.Е., Заулочный П.А., Кошель Е.А. Извлечение золота из упорных высокосульфидных концентратов с применением биогидрометаллургии // Цветные металлы. 2012. № 4. С. 37–42.
9. Сравнительная оценка достоверности определения содержания золота в рудах / А.И.Романчук, В.А.Богомолов, Е.М.Никитенко и др. // Недропользование XXI век. 2013. № 3 (28). С. 58–63.
10. *Технико-экономические* соображения о целесообразности постановки поисково-разведочных работ на кобальтомарганцевые корки в пределах поля Магеллановы горы (с проектом оценочных кондиций). Петропавловск-Камчатский. 1994.