



# КОМБИНИРОВАННАЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКАЯ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ МЕДНОКОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА\*

**М. В. Рыльникова,**  
проф., д-р техн. наук  
(ИПКОН РАН)

**Д. Н. Радченко,**  
ст. научный сотрудник,  
канд. техн. наук  
(ИПКОН РАН)

**А. Ф. Илимбетов,**  
доцент, канд. техн. наук  
(ГОУ ВПО МГТУ  
им. Г. И. Носова)

**Р. Ш. Маннанов,**  
генеральный директор,  
канд. техн. наук  
(ЗАО «Бурибаевский ГОК»)

В современных условиях комплексное освоение недр предусматривает соблюдение двух обязательных условий – это полное безотходное (малоотходное) использование добываемой горной массы и извлечение ее рациональным сочетанием технологических процессов и оборудования при различных способах добычи. При этом, в развитие идей М. И. Агашкова и К. Н. Трубецкого, одно без другого либо невозможно, либо бессмысленно ввиду явной неэффективности вовлечения в промышленную разработку всех запасов месторождения какой-либо монотехнологией [1, 2].

Под комбинированной геотехнологией применительно к добыче и переработке твердых полезных ископаемых понимается совокупность способов, методов, процессов и опе-

**Задача комплексного освоения недр в настоящее время представляется весьма актуальной. Реализация комбинированного способа добычи, основанного на сочетании физико-технических и физико-химических геотехнологий, обеспечивает наиболее высокое качество освоения недр при условии их включения в базовый проект разработки месторождения с оптимизацией во времени и пространстве последовательности применения различных способов добычи и переработки руд и техногенного сырья. Вместе с тем, внедрение комбинированных технологий на современных предприятиях, использующих традиционные способы добычи и переработки сырья, требует проведения целого комплекса теоретических, экспериментальных и опытно-промышленных исследований.**

**В настоящее время предприятия компании «УГМК-Холдинг» выполняют ширококомасштабные исследования по выбору рациональных вариантов и обоснованию параметров таких технологий.**

раций воздействия на горный массив или природную и техногенную минеральную массу, основанных на сочетании технологических процессов и оборудования открытых, подземных горных работ и физико-химических методов добычи и переработки минеральных ресурсов с целью извлечения и эффективного использования полезных ископаемых для нужд народного хозяйства [3]. При этом комбинирование технологий не должно быть вынужденной мерой на этапе затухания горных работ с использованием одного из способов добычи, а должно стать обязательным постулатом, введенным в теорию проектирования комплексного освоения участка недр. Осваиваемый участок недр включает залежи руды и сопутствующего нерудного сырья, накопленные в виде отходов горно-

металлургического производства техногенные образования, сформированные полости, минерализованные промышленные стоки и газы, в совокупности представляющие собой объект проектирования комбинированных геотехнологий. При этом в едином комплексном проекте решаются вопросы поэтапного вовлечения в эксплуатацию отдельных участков недр с оптимизацией сочетания процессов отработки природных залежей и техногенных образований.

Таким образом, в проекте на освоение участка недр должны быть решены вопросы комплексного использования всех полезных компонентов, содержащихся в извлекаемой на различных этапах горных работ горной массе, при временном и пространственном установлении рацио-

\* Работа выполняется при поддержке РФФИ, грант 06-05-64541.

нальных сочетаний известных и перспективных физико-химических геотехнологий, преимущественно малоотходных, для вовлечения в эффективную отработку отдельных участков недр, переработки накопившихся отходов производства с комплексным извлечением ценных компонентов и использованием сформированных открытыми и подземными работами выработанных пространств. Это необходимое и достаточное условие комплексного освоения недр.

Проблема комплексного использования минерально-сырьевой базы имеет актуальное значение для промышленных регионов и горных предприятий, являющихся основными поставщиками цветных металлов на отечественный и мировой рынок. Анализ сложившейся горнотехнической ситуации в горнодобывающих регионах Урала свидетельствует, что принятые в проектах физико-технические технологии не позволяют вовлечь в эффективную отработку все разведанные запасы месторождений. Наряду с рациональным использованием полезных ископаемых недр, особое значение имеют вовлечение в эксплуатацию некондиционных руд и переработка техногенного сырья горно-металлургического комплекса (хвосты обогатительных фабрик и металлургические шлаки, пиритный концентрат, отвалы бедных руд и вскрышных пород, просыпы рентгенометрической сепарации, рудничные воды и др.). Многие техногенные отходы характеризуются промышленно значимым содержанием ценных компонентов и образуются в промышленных зонах с развитой инфраструктурой, что создает предпосылки для их полной утилизации на предприятиях – продуцентах этого сырья.

Техногенные образования отличаются от природных (геогенных) месторождений происхождением, условиями залегания (как правило, на поверхности), пониженным содержанием ценных компонентов. Сходство с природными месторождениями заключается в сложном внутреннем строении залежей и низком содержании ценных компонентов,

поэтому освоение техногенных месторождений связано с рядом трудностей. Опыт разработки техногенных месторождений медноколчеданных руд ограничен.

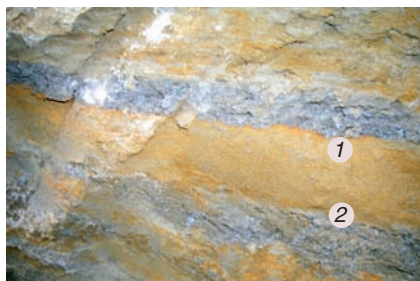


Рис. 1. Фрагмент разреза Старогодного хвостохранилища Бурибаевского ГОКа

При визуальном обследовании массива лежалых хвостов Бурибаевского ГОКа в срезе траншеи, пройденной в хвостохранилище, был установлен ярко выраженный слоистый характер распределения минеральных форм по глубине массива (рис. 1). Слои имеют характерные различия по цвету, крупности представленного в них материала и его механическим характеристикам. Слоистость субпараллельна намываемой поверхности. Верхний слой – зона активной аэрации – характеризуется пониженным содержанием ценных компонентов; слой серого цвета (см. рис.1, слой 1) – сульфофильные, имеют повышенное содержание железа, меди, цинка, кальция, представлены минералами окисленных, преимущественно сульфатных форм. Слои буро-желтого цвета (см. рис. 1, слой 2) – оксифильные, характеризуются повышенной концентрацией благородных металлов и представлены преимущественно труднорастворимыми сульфидами, в основном пиритом.

Аналогичные закономерности прослеживаются и в генезисе формирования природных медноколчеданных месторождений Урала. Выделенная макрослоистость имеет некоторую аналогию с геохимическими классами, характерными для зон гипергенеза [4]. Подобие заключается в сходстве окрасок макрослоев и зон окисления и восстановления. Слоистость массива обусловлена влиянием совокупности природных и техно-

генных факторов на течение процессов вторичного минералообразования. За относительно короткий срок отходы рудообогащения проходят последовательную смену состояний от седиментогенеза (гравитационного расслоения) до гипергенеза.

Оптико-минералогические исследования геометрических параметров и состояния поверхности текущих и лежалых хвостов обогащения медноколчеданных руд позволили установить, что поверхность минералов лежалых хвостов сильно изъедена процессами природного выщелачивания (рис. 2).

Результаты выполненных исследований свидетельствуют, что хранение хвостов в водной фазе хранилища сопряжено со снижением качества техногенного сырья, увеличением содержания окисленных форм (см. таблицу). Повышенные концентрации ионов тяжелых металлов в сточных водах хвостохранилища и снижение содержания металлов в процессе длительного хранения отходов обогащения медноколчеданных руд свидетельствуют о естественном выщелачивании металлов из хвостов. Процессы выветривания и естественного выщелачивания интенсифи-

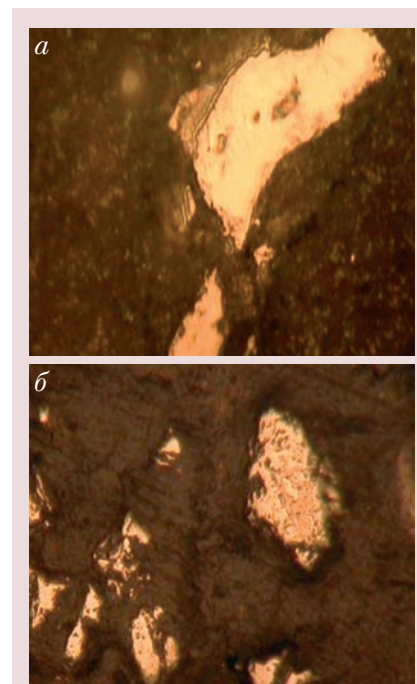


Рис. 2. Шлифы поверхности зерен текущих (а) и лежалых (б) хвостов

**Содержание металлов и оксидов в текущих хвостах Бурибаевской обогатительной фабрики и хвостах, отобранных из Старогодного хвостохранилища, %**

| Металлы и оксиды               | Текущие хвосты | Лежалые хвосты в Старогодном хвостохранилище |          |
|--------------------------------|----------------|--|----------|
|                                |                | слой № 1                                     | слой № 2 |
| Медь                           | 0,69           | 0,48   | 0,15     |
| Цинк                           | 0,54           | 0,23   | 0,13     |
| Сера                           | 20,7           | 23,2   | 24,5     |
| Железо                         | 18,49          | 21,33  | 23,96    |
| Кадмий                         | 0,0029         | 0,0005                                       | 0,0002   |
| Свинец                         | 0,059          | 0,012  | 0,01     |
| Мышьяк                         | 0,02           | 0,02   | 0,02     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,53           | 3,66   | 4,4      |
| MgO                            | 1,8            | 2,55   | 2,94     |
| CaO                            | 1,52           | 1,74   | 1,35     |
| Au                             | 1,7*           | 0,2*   | 1,5*     |
| Ag                             | 12,2*          | 2,4*   | 7,6*     |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,6            | 0,7  | 0,3      |
| SiO <sub>2</sub>               | 38,9           | 24,5   | 33,8     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 23             | 31   | 27,8     |
| CuO                            | 0,7            | 3,0  | 0,3      |
| ZnO                            | 0,4            | 0,9  | 0,1      |
| BaO                            | 0,3            | 0,1  | 0,05     |

\* В г/т.

цируются с течением времени вследствие непрерывного окисления и более быстрого выщелачивания ионов металлов из окисленных минералов.

В хвостах, слагающих слой № 1 Старогодного хвостохранилища, происходит концентрация окисленных форм меди и цинка, и содержание этих элементов соответственно в 4,3 и 2,25 раз выше, чем в текущих. В свою очередь, в хвостах, отобранных из слоя № 2, среднее содержание золота выше в 7,5 раз, а серебра – в 3,17 раз, чем в слое № 1, но ниже, чем в текущих отходах обогащения. Это указывает на снижение качества техногенного сырья в процессе хранения и целесообразность изыскания способов переработки текущих хвостов с их последующей утилизацией в качестве закладочного материала при закладке выработанного пространства.

Наиболее приемлемым способом переработки такого сырья является комбинированный. Сочетание процессов разработки техногенных образований, подготовки отходов, целенаправленного формирования массивов для кучного выщелачивания, получения и переработки продуктивных растворов с последующей рекультивацией штабелей и использованием выщелоченных хвос-

тов обогащения медноколчеданных руд в качестве закладочного материала для погашения подземных пустот позволяет в перспективе частично или полностью отказаться от строительства массивных хвостохранилищ.

Известно, что основной характеристикой выщелачиваемого массива является его фильтрационная способность, что особенно важно при выщелачивании тонкодисперсного материала – хвостов обогащения медноколчеданных руд. Присутствие в выщелачиваемом массиве частиц крупностью менее 1 мм ухудшает фильтрацию растворов, вызывает образование каналов или закупоренных зон внутри массива, обуславливая увеличение времени выщелачивания и понижение степени извлечения или полное прекращение фильтрации, что ограничивает практические возможности переработки текущих и уже накопленных в огромных количествах в хвостохранилищах отходов. Для обеспечения требуемого режима фильтрации хвосты необходимо подвергать перед укладкой в штабель окомкованию. В лабораторных и опытно-промышленных условиях был подобран и апробирован состав шихты для окомкования, получены окатыши требуемых для вы-

щелачивания кондиций (рис. 3). Установлены возможность и целесообразность выщелачивания широкого спектра ценных компонентов из хвостов обогащения медноколчеданных руд модифицированными серноокислыми растворами.

Опытно-промышленная апробация комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии была проведена на площадке Бурибаевского ГОКа. На первом этапе исследований в 2006 г. были проведены работы по окомкованию предварительно обезвоженных хвостов обогащения и их укладке в штабель. Испытания подтвердили эффективность предложенного способа окомкования, причем характеристики материала, окомкованного в опытно-промышленных услови-

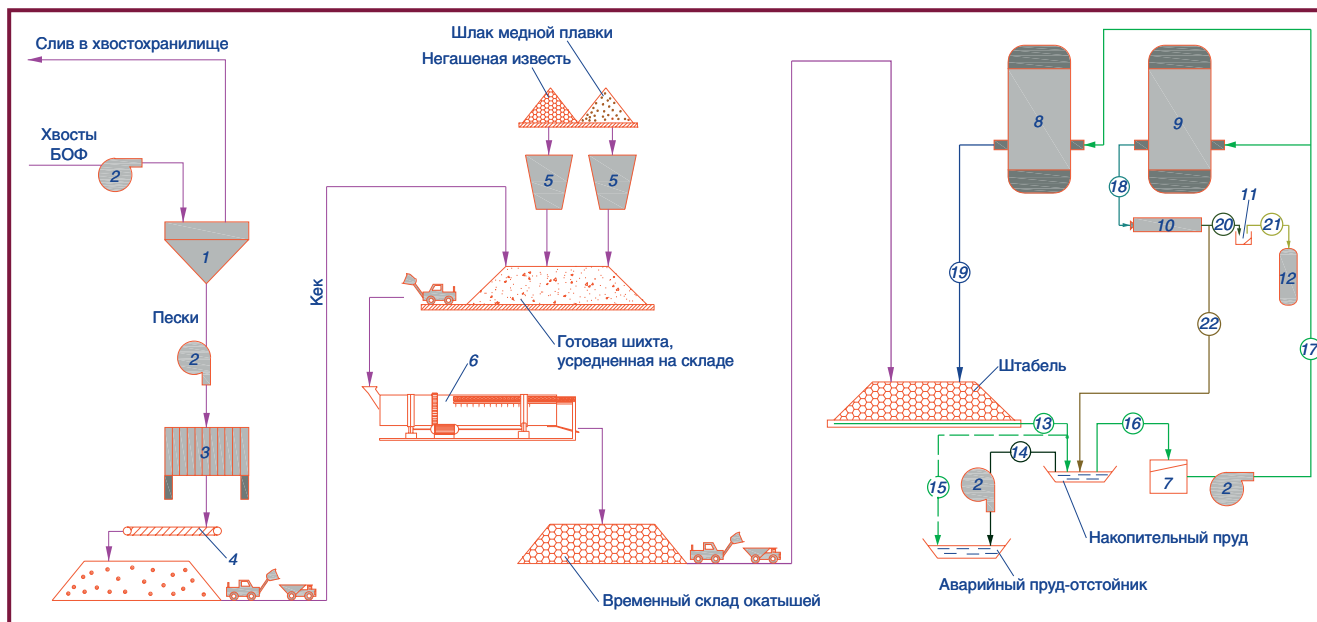


**Рис. 3. Окатыши из текущих хвостов обогащения медноколчеданных руд**

ях, значительно превышали характеристики окатышей, производимых в лаборатории, по большинству значимых для реализации физико-химической геотехнологии параметров: прочности, пористости, механической устойчивости в кислой среде, влагонасыщению и др.

В результате опытно-промышленных испытаний, проведенных в 2007 г., была отработана схема орошения и сбора растворов, установлены рациональные параметры процессов, даны рекомендации по повышению степени равномерности распределения растворов по всей площади штабеля и по контролю за параметрами технологии кучного выщелачивания.

Принципиальная технологическая схема подготовки сырья и кучного выщелачивания, реализованная в 2007 г., представлена на рис. 4.



**Рис. 4. Схема цепи аппаратов опытно-промышленных испытаний технологии выщелачивания окомкованных отходов обогащения:** 1 – стуситель рамного типа; 2 – насос; 3 – дисковый вакуум-фильтр; 4 – конвейер обезвоженных хвостов на склад цинкового концентрата; 5 – мельница сухого помола; 6 – барабанный окомкователь; 7 – емкость продуктивного раствора; 8, 9 – напорные емкости выщелачивающего и продуктивного растворов; 10 – цементатор; 11 – емкость для цементной меди с переливом; 12 – экспериментальная сорбционная установка; 13-21 – трубопроводы рабочих растворов

В соответствии с данной технологической схемой после формирования массива на многослойном гидроизоляционном основании, имеющем контрольный и рабочий дренажные слои, и монтажа системы орошения было реализовано циклическое орошение окомкованных и уложенных в штабель хвостов обогащения медноколчеданных руд в инфильтрационно-капиллярном режиме по схеме: закисление штабеля – промывка с получением продуктивного раствора – выдерживание штабеля без орошения (рис. 5).

Подача растворителя, приготовленного на основе подтовальных вод, серной кислоты и интенсифицирующих добавок, осуществлялась в режиме смачивания, равномерно по всей поверхности экспериментального штабеля дважды в день. При этом фиксировались объемы подаваемых растворов, их состав и температура. В объеме массива серная кислота расходуется на собственно выщелачивание ценных компонентов, а также на нейтрализацию карбонатов вмещающих пород. Цикл такой обработки продолжался 20 сут.

По истечении данного периода времени производилась промывка штабеля подтовальной водой. При промывке происходил вынос из штабеля растворимых сульфатов металлов, образовавшихся в процессе закисления. Полученный от промывки продуктивный раствор поступал по каналам дренажной системы, функционирующей в безнапорном режиме, и самотечным трубопроводам в зумпф и накопительную емкость. Продуктивные растворы исследовались на содержание меди, цинка, некоторых редких и благородных металлов.

Результаты исследований показыва-

ли, что техногенные отходы медноколчеданных месторождений можно рассматривать не только как источник основных традиционных полезных компонентов, таких как медь, цинк, благородные металлы, но и как сырье для извлечения широкого спектра редкоземельных и рассеянных элементов.

Следует отметить, что обязательным условием эффективной реализации технологической схемы комплексного освоения месторождений полиметаллических руд является использование отходов выщелачивания в технологии закладки отработанных подземных камер. При этом, ввиду простоты технологической схемы приготовления твердеющего закладочного материала из отходов выщелачивания (отсутствует необходимость дробления и измельчения компонентов закладочной смеси), закладочный комплекс может быть размещен непосредственно на берме в основании карьера, откуда закладочная смесь по скважине подается в выработанное пространство очистных камер подземного рудника [5].



**Рис. 5. Экспериментальный штабель в период орошения**

Возможность приготовления твердеющей закладочной смеси из отходов сернокислотного выщелачивания текущих хвостов обогащения, отвечающей нормативным прочностным и требуемым деформационным характеристикам, доказана в процессе лабораторных экспериментов. Определены технико-экономические преимущества формирования закладочных массивов с использованием в качестве вяжущих доступных местных материалов и отходов горнодобывающего производства. Полученные составы закладочной смеси на основе отходов выщелачивания хвостов обогащения медноколчеданных руд могут быть использованы при освоении месторождений полиметаллов в различных горно-геологических условиях по системам разработки с закладкой очистного пространства твердеющими закладочными материалами.

В свете вышеобозначенного подхода к освоению ресурсов недр представляется перспективным формирование единого горно-обогатительного комплекса по добыче и глубокой переработке медноколчеданного сырья, где на одной промышленной площадке будут размещены рудник, обогатительная фабрика, площадка для кучного выщелачивания и цех гидрометаллургической переработки продуктивных растворов, а также закладочный комплекс по утилизации отходов кучного выщелачивания в процессе закладочных работ.

Применение данной технологии

обеспечивает снижение эксплуатационных затрат на получение конечной продукции за счет извлечения большего количества полезных компонентов из единицы исходного сырья; экономии капитальных вложений на реконструкцию и строительство новых горно-обогатительных объектов, разведку новых месторождений полезных ископаемых; снижения затрат на возведение закладочных массивов из отходов выщелачивания; сокращения площадей земельных угодий, отводимых для размещения отходов горно-металлургического производства; уменьшения экологических платежей и улучшения состояния окружающей природной среды. Это способствует, с одной стороны, повышению социально-экономической эффективности природопользования, с другой, – росту конкурентоспособности недропользователей на мировом рынке сырья.

Очевидно, что реализация комбинированного способа добычи, основанного на сочетании физико-технических и физико-химических геотехнологий, обеспечивает наиболее высокое качество освоения недр только в случае их включения в базовый проект разработки месторождения с оптимизацией во времени и пространстве последовательности применения различных способов добычи и переработки руд и техногенного сырья. Вместе с тем, не менее существенный эколого-экономический эффект может и должен быть получен на действующих предприятиях за

счет вовлечения в освоение некондиционных минеральных ресурсов комбинированными физико-техническими и физико-химическими технологиями с последующим использованием отработанного сырья в процессе закладочных работ.

Область применения комбинированных физико-технических и физико-химических геотехнологий во всем многообразии вариантов сочетания, по сути, не имеет границ, включая и расширенную область использования нанотехнологий в горном деле. Фундаментальные исследования закономерностей процессов многокомпонентного и экологически сбалансированного освоения рудных месторождений посредством комплекса физико-технических и физико-химических геотехнологий проводятся в ИПКОН РАН под руководством чл.-корр. РАН Д. Р. Каплунова.

Очевидно, что внедрение комбинированных технологий на современных предприятиях, применяющих традиционные способы добычи и переработки руд, требует проведения широкого комплекса теоретических, экспериментальных и опытно-промышленных исследований. Учитывая высокую социальную и экономическую значимость поставленных проблем, в настоящее время предприятия компании «УТМК-Холдинг» проводят широкомасштабные исследования по выбору рациональных вариантов и обоснованию параметров данных технологий. ■■■



#### Список литературы

1. Агошков М. И. Развитие идей и практики комплексного освоения недр. – М.: ИПКОН РАН, 1982.
2. Проблемы комплексного освоения суперкрупных месторождений стратегического сырья / Под ред. акад. РАН К. Н. Трубецкого, чл.-корр. РАН Д. Р. Каплунова. – М.: ИПКОН РАН, 2006.
3. Каплунов Д. Р., Калмыков В. Н., Рыльникова М. В. Комбинированная геотехнология. – М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2003.
4. Перельман А. И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. – М.: Недра, 1972.
5. Рыльникова М. В., Илимбетов А. Ф., Абдрахманов И. А. Комплексное освоение медноколчеданных месторождений Южного Урала / Недропользование-XXI век. – 2006. – № 1.