

УДК 622.775

**М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко, Д.А. Милкин,
А.Г. Звягинцев, А.М. Пешков**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМА
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ СЫРЬЯ ТЕХНОГЕННЫХ
ОБРАЗОВАНИЙ, СОПУТСТВУЮЩИХ РАЗРАБОТКЕ
МЕДНО-КОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ***

Описаны опытно-промышленные исследования технологии кучного выщелачивания отвальных руд Учалинского карьера и отходов радиометрической сепарации бедных руд. Приведены основные результаты, которые использованы для обоснования физико-химических процессов в горнотехнической системе комплексного освоения месторождений многокомпонентных медно-колчеданных руд.

Ключевые слова:

Семинар № 25

Проблема восполнения минерально-сырьевой базы, экологизации горного производства имеет актуальное значение для всех отечественных горнодобывающих предприятий, являющихся основными поставщиками цветных металлов на отечественный и мировой рынок. Истощение минерально-сырьевой базы действующих предприятий и снижение качества эксплуатационных запасов месторождений медно-колчеданного сырья, обуславливает необходимость изыскания новых технологических решений, позволяющих вовлечь бедные руды, ранее складированные в отвалы, в эффективную промышленную разработку перспективными физико-химическими геотехнологиями.

В ходе лабораторных исследований была доказана возможность эксплуатации складированных в отвалах Учалинского и Молодежного карье-

ров отвальных руд, методом кучного выщелачивания [1]. Вместе с тем, для разработки проекта на промышленное освоение данного вида техногенного сырья лабораторных исследований недостаточно. Поэтому для установления рациональных параметров и режима технологических процессов выщелачивания руд специфического вещественного состава в климатических условиях южного Урала была проведена опытно-промышленная апробация данной технологии на представительных объемах выщелачиваемого сырья.

В ходе опытно-промышленной апробации технологии кучного выщелачивания предусматривалось решение следующих задач:

- оценка эффективности процессов рудоподготовки и формирования массивов выщелачивания с заданными технологическими характеристиками;
- исследование возможности и

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ – 09-05-00675-а.

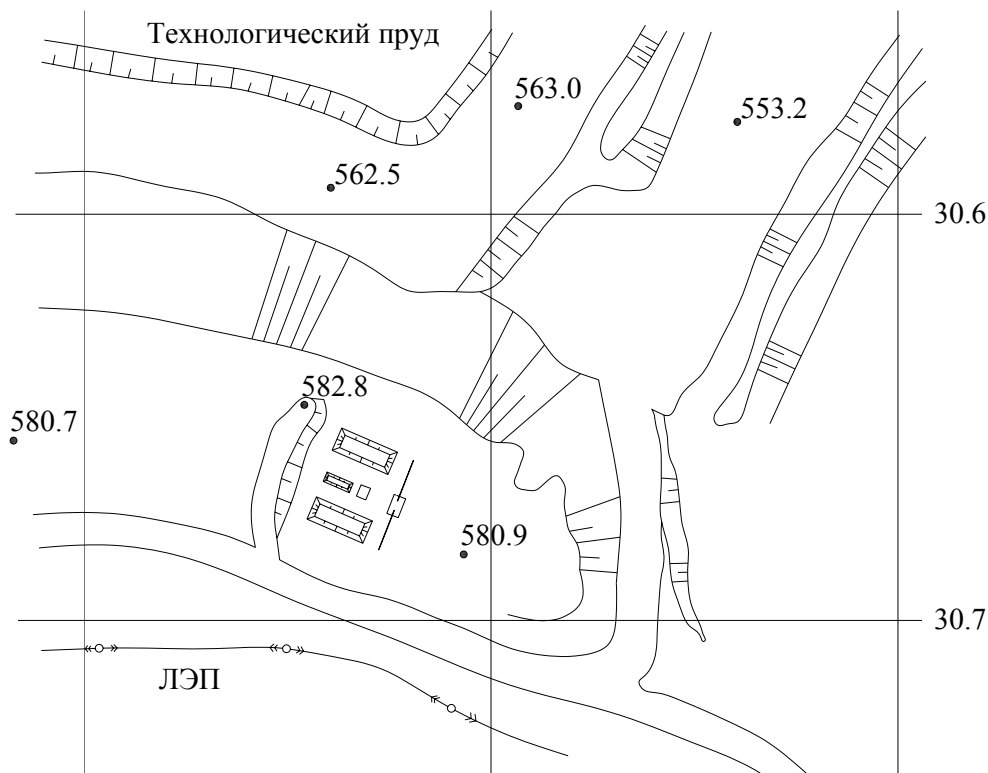


Рис. 1. План полигона опытно-промышленных испытаний технологии кучного выщелачивания отвальных руд Учалинского карьера

эффективности применения в качестве выщелачивающей среды естественного сернокислотного реагента – подотвальных и карьерных вод;

- изучение параметров и режимов технологии кучного выщелачивания;
- установление водного баланса участка выщелачивания с учетом особенностей климатических условий;
- исследование вещественного состава промышленных продуктивных растворов выщелачивания и технологий их промышленной переработки.

Опытно-промышленные испытания физико-химической геотехнологии были проведены на поверхности Учалинского карьера на специально выделенной площадке (рис. 1), расположенной на рудном отвале №8 в не-

посредственной близости от насосной станции перекачивающей подотвальные воды, что обеспечило возможность их отбора с минимальными затратами. На площадке было сформировано три штабеля – №1 из некондиционной руды из отвала Учалинского карьера крупностью -250+40 мм, массой 82,3 т, №2 из отходов радиометрической сепарации (РМС) крупностью -40+5 мм, массой 91,8 т и №3 из отходов (РМС) крупностью -5 мм, массой 10,3 т.

Перед началом проведения опытно-промышленных работ были отобраны представительные пробы техногенного сырья для определения вещественного состава исследуемых руд и оценки их физико-механичес-

Таблица 1

Минеральный состав отвальной руды Учалинского месторождения класса -40+5 мм

Компоненты	Массовая доля, %	Компоненты	Массовая доля, %
SiO ₂	27,0	FeS	н/д
Al ₂ O ₃	3,92	S _{общ}	27,3
TiO ₂	0,14	C _{общ}	0,28
CaO	2,9	C _{орг}	<0,05
MgO	1,1	CO ₂	1,04
K ₂ O	0,65	H ₂ O	0,41
Na ₂ O	0,4	Cu	0,52
P ₂ O ₅	0,16	Zn	3,12
MnO	0,098	-	-
Fe _{общ}	24,4	-	-

ких характеристик. Минеральный состав складированных в отвал отходов радиометрической сепарации приведен в табл. 1.

Химическим анализом окисленной руды крупностью -250+40 мм установлено, что среднее содержание в ней меди составляет – 0,42 %, цинка – 1,01, железа – 22,28.

Минеральный состав усредненной пробы класса -5+0 мм приведен в табл. 2.

Таблица 2

Минеральный состав фракции -5+0 мм

Компоненты	Массовая доля, %
SiO ₂	24,4
Al ₂ O ₃	3,05
CaO	2,2
MgO	1,8
K ₂ O	2,5
Na ₂ O	3,0
Cu	0,3
Zn	0,227

Результаты исследований физико-механических характеристик представленных на анализ проб отвальных руд Учалинского месторождения приведены в табл. 3.

При подготовке площадки опытно-промышленных испытаний для гидроизоляции штабеля кучного выщелачивания (рис. 2) была завезена глина, которая уложена в основание штабеля слоем, толщиной 20 см, и тщательно

но укатана. После этого на нее уложили кислотостойкую промышленную пленку, стыки которой герметизированы термической сваркой.

На подготовленном герметичном основании был сформирован дренажный слой из песка и щебня. Верхний слой кварцевого песка, толщиной 0,1 м, предназначен для предотвращения разрыва пленки при укладке щебня; слой строительного щебня, толщиной 0,3 м, обеспечивал сбор и транспортировку рабочего раствора в основание штабеля по уклону.

В основании уклона были пройдены сборные траншеи перпендикулярно основанию площадки, соединенные с зумпфом (рис. 3). Зумпф был сооружен таким образом, чтобы в нем можно было разместить две аккумуляющие емкости. Первая - предназначена для сбора продуктивных растворов поступающих из под штабеля фракции -250+40, вторая - для сбора растворов, поступающих со штабеля фракции -40+5 мм. Сборная траншея от штабеля мелкой фракции была пройдена вдоль его основания, в торце также был сооружен зумпф (рис. 3).

Подача реагента на штабель осуществлялась сверху в безнапорном режиме из пластиковых емкостей, объемом 1,2 м³ (рис. 4), размещенных на специально подготовленной площадке.

Таблица 3

**Результаты определения физико-механических характеристик
проб отвальных руд Учалинского месторождения**

Номер пробы	Наименование пород	Объемная масса, г/см ³	Влажность, %	Объемная масса скелета, г/см ³	Удельная масса, г/см ³	Пористость	Коэффициент крепости	Среднее значение водопоглощения породы, %	Среднее водонасыщение породы, %
1	диабазы зеленого цвета	2,78	0,17	2,78	2,80	0,88	11	0,14	0,17
2	диабазы зеленовато-сиреневого цвета с прожилками кварца	2,71	0,14	2,71	2,74	1,23	14	0,12	0,12
3	густовкрапленная пирит-содержащая руда	3,56	0,08	3,56	3,60	1,19	5	0,10	0,14
4	сплошная серноколчеданная руда	4,44	0,00	4,44	4,49	1,11	7	0,04	0,06
5	кварц-хлоритовый-метасоматит с прожилками кварца	2,81	0,15	2,81	2,84	1,20	12	0,09	0,12
6	кварц-серицитовый-метасоматит с вкраплениями пирита	3,02	0,32	3,01	3,20	5,93	6	0,17	0,19



Рис. 2. Внешний вид полигона в период подготовки площадки

Емкости имели отводные патрубки для соединения со шлангами оросительной системы. Количество линий оросительных шлангов со специальными разбрызгивателями определялось с учетом формы штабеля и площади его поверхности. Для обеспече-

ния равномерности орошения штабеля размещение линий орошения регулировалось в ходе эксперимента. Рациональный режим орошения был определен лабораторными исследованиями [2].

В ходе проведения опытно-промышленных испытаний производился комплексный мониторинг параметров геотехнологии (табл. 4).

В начале эксперимента выщелачиваемый массив насыщался подотвальными водами. Критерием влагонасыщения являлось появление растворов в основании штабеля. После этого подача воды прекращалась, штабель выстаивался, происходило постепенное проникновение растворов вглубь кусков руды. По истечению нескольких часов

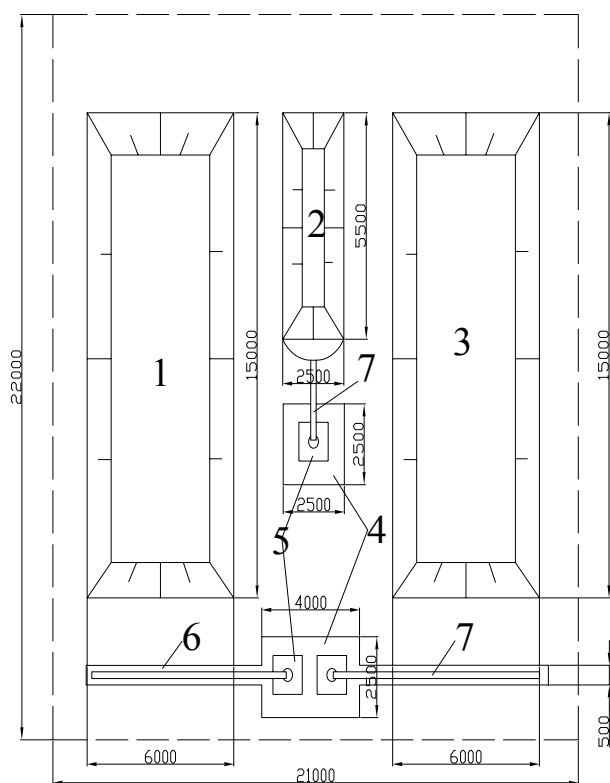


Рис. 3. Дренажная система для сбора продуктивных растворов: 1 – массив фракции -40+5 мм; 2 – массив фракции -5 мм; 3 – массив фракции -250+40 мм; 4 – зумпфы; 5 – аккумулярующие емкости для сбора продуктивных растворов; 6 – траншея; 7 – желоб

Таблица 4

Контролируемые в ходе опытно-промышленной апробации параметры эксперимента

Контролируемые параметры:	Методы контроля:
<ul style="list-style-type: none"> - содержание ценных компонентов в исходных рудах, %; - минеральный состав рудничных вод; - состав растворителя; - уровень pH и Eh (мВ) при выщелачивании; - коэффициент фильтрации, м/сут; - концентрация элементов в продуктивных растворах, мг/дм³; - плотность раствора; - расход растворителя и продуктивного раствора; - степень концентрации ценных компонентов; - механические характеристики руды; - усадка штабеля и состояние его поверхности. 	<ul style="list-style-type: none"> - пробирные химические анализы; - атомно-абсорбционная спектрометрия; - замеры на лабораторном pH-метре; - натурные замеры на участке; - лабораторные испытания; - минералогический анализ; - геохимические исследования

**Рис. 4. Внешний вид оросительной системы**

операция повторялась. Оценка влагонасыщения производилась путем раскола кусков руды, отобранных из разных частей массива механическим ударом. Влагонасыщение штабеля производилось в течение 3 суток.

После насыщения штабелей подотвальной водой производилось закисление руды путем подачи активного агента, приготовленного на основе подотвальных вод, доукрепленных до 10 % концентрации по свободной серной кислоте. График подачи активного агента на штабель №1 и динамика поступления раствора в зумпф в течении первого цикла за-

кисления представлены на рисунке 5. Общий объем раствора, поступившего в зумпф штабеля №1 и №2 в период дождей, составил 1260 дм³ и 1100 дм³, соответственно. Средневзвешенное содержание меди в растворе 3197,69 мг/дм³.

Анализ изменения содержания меди в продуктивном растворе выщелачивания штабеля №1 в течение цикла закисления свидетельствует о том, что процесс закисления характеризуется нарастающей динамикой перехода ионов меди в раствор. Так, если в исходном растворе, подаваемом на штабель и приготовленном на основе

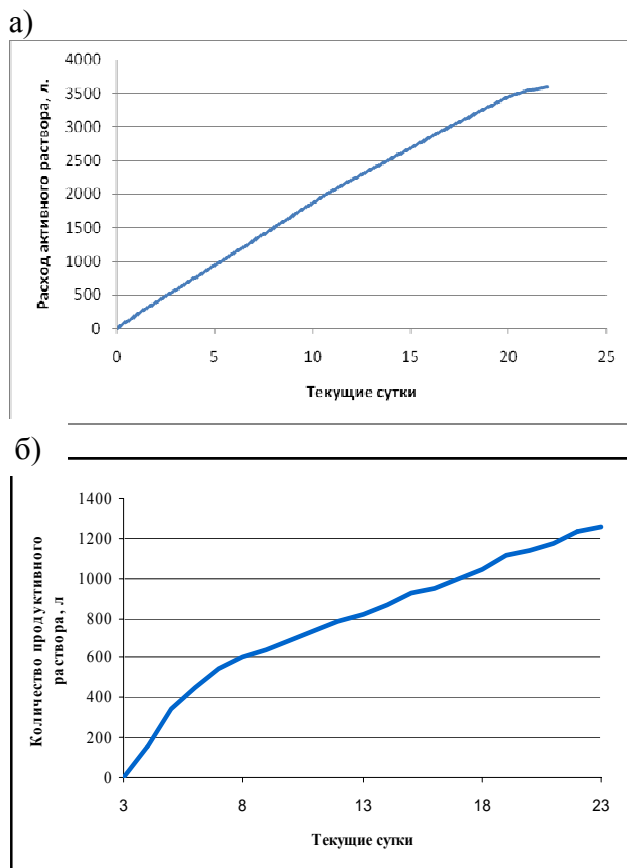


Рис. 5. График объемов подачи раствора для закисления руды штабеля №1 (а) и динамика поступления раствора в зумпф (б) в период первого цикла закисления

бочем режиме производилась подача на штабель раствора, приготовленного на основе подотвальных вод, доукрепленных до 2%-ной концентрации по свободной серной кислоте и модифицированных специально подготовленной по авторской методике торфяной вытяжкой, содержащей комплекс фульвокислот, являющихся интенсификатором процесса сернокислотного выщелачивания.

График подачи рабочего агента на штабель №1 и динамика поступления продуктивного раствора в зумпф в течение рабочего

подотвальных вод, содержание меди составляло 287 мг/дм^3 , то уже с первыми поступлениями продуктивного раствора после дождей содержание меди в зумпфе превысило 2000 мг/дм^3 . Последующие поступления раствора в зумпф характеризовались еще большей концентрацией меди, и к завершению цикла закисления изпод штабеля поступал раствор с содержанием меди более 5500 мг/дм^3 . Аналогична динамика фазовых переходов цинка из минеральной фазы в ионную форму (рис. 6).

Продолжительность цикла закисления составила 20 суток. По завершении цикла закисления была начата промывка штабеля со сбором и анализом продуктивных растворов. В ра-

режима представлены на рисунке 7. Изменение расхода подающего раствора за весь период промывки происходило в диапазоне от $1,3$ до $3,5 \text{ л}\cdot\text{м}^2/\text{сут.}$ и зависело от интенсивности выпадения атмосферных осадков. Среднесуточный расход выщелачивающего раствора, подаваемого на штабель в рабочем режиме составил $1,84 \text{ л}\cdot\text{м}^2/\text{сут.}$ Всего на штабель было подано 3150 дм^3 рабочего раствора.

В первые 2 дня реализации рабочего режима выщелачивания штабеля №1 концентрация меди достигала $5492,3 \text{ мг/дм}^3$, что связано с растворением образовавшихся в процессе закисления сульфатов. Начиная с пятого дня промывки, в течение 9 дней наблюдалось некоторое снижение

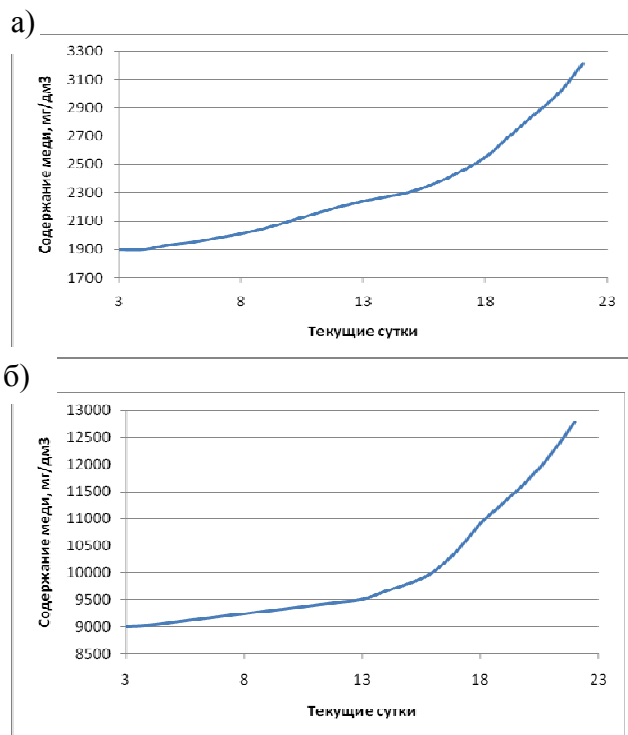


Рис. 6. Динамика изменения среднего содержания меди (а) и цинка (б) в продуктивном растворе выщелачивания штабеля №1 в период закисления

Анализ результатов, полученных в ходе выщелачивания штабеля мелкой фракции, свидетельствует о весьма низком извлечении. За весь период было получено около 600 дм³ продуктивного раствора. Среднее содержание меди в нем составило - 234 мг/дм³, цинка - 1157,3 мг/дм³. При этом максимальное содержание меди не превышало 494,2 мг/дм³, цинка - 2238,4 мг/дм³. Учитывая достаточно низкое содержание

полезных компонентов в полученных продуктивных растворах выщелачивания мелкой фракции по мере их накопления в зумпфе осуществлялась перекачка растворов с помощью кислотостойкого насоса в напорную емкость, и после доукрепления до соответствующей концентрации по свободной серной кислоте, их подавали обратно на выщелачиваемый массив. Несмотря на постоянную циркуляцию растворов, повышение содержания полезных компонентов в продуктивном растворе не происходило, ввиду того, что тонкодисперсный материал не способствовал проникновению раствора вглубь штабеля, циркуляция происходила по его поверхности. Был сделан вывод о нецелесообразности дальнейшего выщелачивания руды мелкой фракции.

концентрации в продуктивном растворе меди до 3400 мг/дм³. В дальнейшем, вплоть до наступления отрицательных температур, оно было достаточно стабильным и в накопительном зумпфе не опускалось ниже 3500 мг/дм³ (рис. 8). При промывке штабеля №2 в первые трое суток содержание меди в растворе составляло около 6000 мг/дм³. По истечению этого срока содержание меди в продуктивном растворе снижалось в течение 10 суток, затем стабилизировалось и вплоть до наступления отрицательных температур и прекращения эксперимента не опускалось ниже 2000 мг/дм³. Среднее содержание меди в накопленных продуктивных растворах в зумпфе в течение рабочего режима выщелачивания составило 2171,7 мг/дм³. Аналогичные зависимости были получены при анализе динамики извлечения цинка.

Для исключения перемерзания системы орошения при наступлении

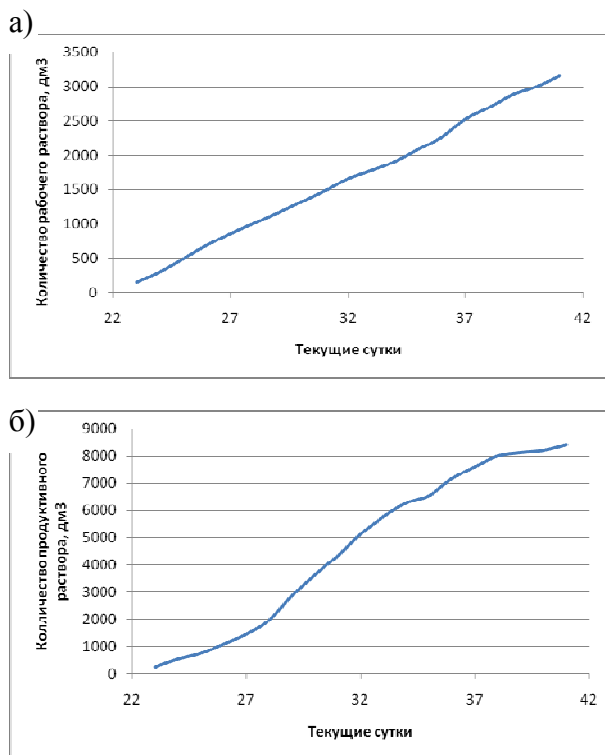


Рис. 7. График подачи раствора на штабель №1 (а) и динамика поступления раствора в зумпф (б) в рабочем режиме выщелачивания

со средним содержанием меди – 0,42 % (345,66 кг) и цинка 1,01 % (831,23 кг) за весь период опытно-промышленных работ с учетом дождей и снега составило: меди – 5,47 % (18,9 кг), цинка – 10,13 % (84,21 кг).

Полученные результаты коррелируют с данными лабораторных исследований, в которых из аналогичного сырья за 90 суток промывки извлечение меди составило 78,8%, цинка – 74,5%.

О перспективе промышленной реализации технологии кучного выщелачивания окисленных руд свидетельствует поступление со штабеля выщелачивания продуктивных растворов со стабильно высоким содержанием меди и цинка в течение всего эксперимента. Это позволяет рассчитывать на стабильную работу гидрометаллургического передела при промышленной реализации технологии, что позволит повысить полноту извлечения ценных компонентов из руд, обеспечить на горнодобывающем предприятии выпуск металлической товарной продукции и снизить экологическую нагрузку.

В результате комплекса исследовательских и стендовых испытаний технологии переработки продуктивных растворов, полученных в результате выщелачивания окисленной руды, установлено, что продуктивные растворы являются комплексными, содержат

осенних заморозков опытно-промышленные испытания были приостановлены.

Общий объем полученного продуктивного раствора в цикле закисления и промывки со штабеля №1 фракции - -40+5 мм составил 9390 дм³, среднее содержание меди в нем - 3860,4 мг/дм³. Расчетное извлечение меди из 91,8 т. массива отходов радиометрической сепарации за 24 дня промывки в условиях интенсивных ливневых дождей при исходном содержании меди в ней 0,55 % (504,9 кг меди) и цинка 2,77% (2478,6 кг) составило по меди – 6,84 % и цинку – 5,73 %.

В результате реализации рабочего режима выщелачивания штабеля фракции -250+40 мм было получено 8390 дм³ продуктивного раствора. Расчетное извлечение металлов из 82,3 т. забалансовой отвальной руды

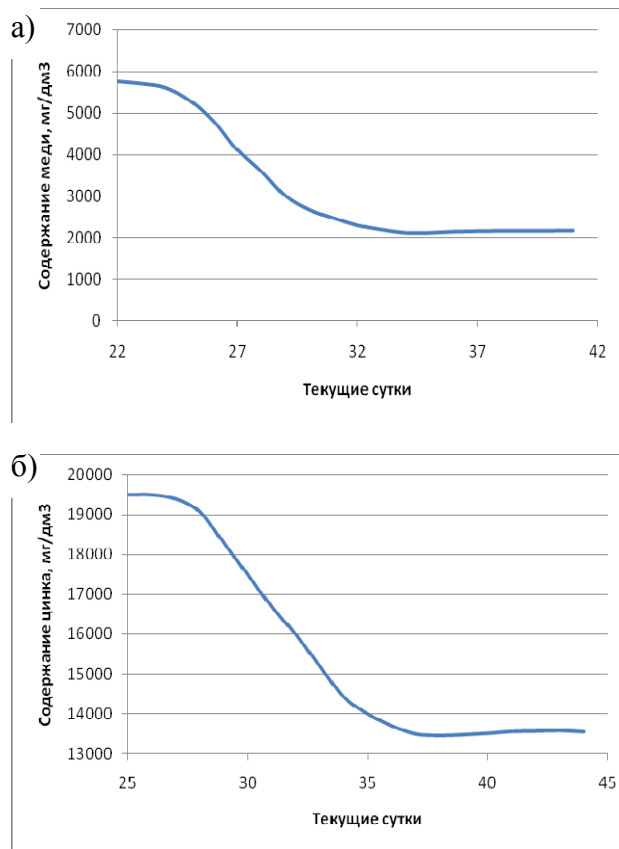


Рис. 8. Динамика изменения среднего содержания меди (а) и цинка (б) в продуктивном растворе, поступившем на переработку в ходе рабочего режима выщелачивания

цементации. Среднее содержание меди в цементате, полученном в ходе стендовых испытаний, составило 65,2 %. Магнитная сепарация повысила качество цементного продукта до 78,5 % Cu. Выход немагнитной фракции составил 61,5% при извлечении меди в продукт 85 %. В общей сложности извлечение меди из продуктивных растворов составило 91,2 %, получено около 19 килограмм цементной меди.

Исследованиями процессов экстракции меди, выполненными в лаборатории МИСИС, установлено, что расслаивание фаз, как в цикле экстракции, так и в цикле реэкстракции, идет быстро без образования промежуточного диффузионного слоя. Извлечение меди из растворов составило 98-100 %. Железа в реэкстракте качественным анализом не обнаружено, что позволяет заключить, что реэкстракт может быть эффективно переработан методом электролиза меди в отсутствие растворимого медного анода (электроэкстракция). Перспективным также является оценка возможности переработки продуктивных растворов методом цементации на цинке.

Исследования процесса избирательного осаждения сульфидом натрия цинка в виде ZnS путем изменения pH раствора до 3-4 показали, что

широкий спектр ценных компонентов, которые целесообразно извлекать сочетанием известных и перспективных гидрометаллургических способов. В ходе стендовых испытаний технологий извлечения меди и цинка – основных промышленно-значимых компонентов медно-колчеданных руд, были исследованы технологии цементации меди на железном скрапе, экстракции и электролиза меди, осаждения цинка в виде сульфидного продукта, а железа – в виде промежуточного продукта перед выделением меди; была определена также возможность сорбции других элементов на ионообменных смолах.

В условиях опытно-промышленного участка переработка продуктивных растворов осуществлялась методом

содержание в осадке цинка составило 37,5 %, что является промышленным содержанием для дальнейшей переработки полученного продукта на электрометаллургическом заводе.

В целом продуктивные растворы являются комплексными, содержат широкий спектр ценных компонентов, которые целесообразно извлекать со-

четанием известных и перспективных гидрометаллургических способов.

Результаты исследовательских и стендовых испытаний использовали для обоснования физико-химических процессов в горнотехнической системе комплексного освоения месторождений многокомпонентных медно-колчеданных руд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Илимбетов А.Ф. Разработка технологии формирования и комплексного освоения техногенных месторождений на основе переработки руд // ГИАБ, 2008 - №4. – С. 247-256.

2. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Илимбетов А.Ф., Звягинцев А.Г. Опытная промышленная апробация технологии выщелачивания отходов переработки медно-колчеданных руд // ГИАБ, 2008 - №2. – С. 293-302. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Рыльникова М.В. – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник,
Радченко Д.Н. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Милкин Д.А. – аспирант, младший научный сотрудник,
 УРАН ИПКОН РАН, info@ipkonran.ru
Звягинцев А.Г. – аспирант, ГОУ ВПО МГТУ им. Г.И. Носова, mgtu@magtu.ru
Пешков А.М. – аспирант, ГОУ ВПО МГТУ им. Г.И. Носова, mgtu@magtu.ru



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ			
ТУНГУСОВ Сергей Александрович	Повышение эффективности промывки скважин за счет использования пульсирующего потока	25.00.14	к.т.н.
АННЕНКОВ Анатолий Алексеевич	Рациональная технология бурения разведочных скважин для создания полигонов захоронения токсичных и радиоактивных отходов	25.00.14	к.т.н.