

Код МРНТИ 52.13.05

У.А. Бектибаев¹, Н. Жалгасулы¹, А.Т. Салкынов², *А.А. Исмаилова¹

¹Институт горного дела им. Д.А. Кунаева (г. Алматы, Казахстан),

²Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (г. Караганды, Казахстан)

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ РУДЫ – ОСНОВНОЙ ФАКТОР ВЫХОДА МЕТАЛЛА

Аннотация. В статье рассматривается современное состояние добычи и переработки некондиционных медных руд, временно оставленных из-за совершенства ранних технологий подземной и открытой разработки месторождений полезных ископаемых и характеризующихся влиянием зависимости извлечения металла от характера дробления. Дело в том, что чем оптимальнее кусок руды для выщелачивания, контакт поверхности становится больше, что обеспечивает максимум выхода металлов. Однако для получения ожидаемого гранулометрического состава взорванной горной массы при известной эффективности глубине проникновения реагента внутрь рудного куска важно знать также параметры скважины, обуславливаемой технической вооруженностью процесса отбойки.

Ключевые слова: некондиционные медные руды, кучное выщелачивание, дробление, контакты, гидрometаллургия, растворители.

Кеннің гранулометриялық құрамы – металл шығымының негізгі факторы

Андатпа. Мақалада пайдалы қазбалар кен орындарын жерасты және ашық әдіспен игерудің технологияларының дамымауына байланысты металды өндіруде кеннің ірілі-ұсағының сипатына тәуелділігінің әсерімен мыс кендерін шығару мен өңдеудің қазіргі жағдайы қарастырылады. Кенді алудың сілтілеу әдісін ұсынғанымызда руданың кесектігі тиімді болса оның ерітіндімен жанасу беті соғұрлым көбірек болады, бұл металдардың максималды шығын қамтамасыз етеді. Кенді қопарғанда оның ірілі-ұсақтылығын кен кесегіне ерітінділердің сіңірілуінің тиімді өлшем аумағына байланысты болуы керек. Бұл үдеріс бұрғылаудың техникалық жабдықталуымен байланысты болады да, ұңғыманың диаметрі, сондай-ақ олардың ара қашықтығы ұсынылатын технологияға байланысты болып, кеннен алынатын металдардың мөлшері максималды деңгейде болуын шартты түрде қадағалау керек.

Түйінді сөздер: сапашартсыз мыс кені, руда үйіндісі, ұсақтау, контактілер, сілтілеу, гидрometаллургия, ерітінділер.

Ore granulometric composition is the main factor of metal yield

Abstract. The article examines the current state of mining and processing of substandard copper ores, temporarily abandoned due to the insufficiency of early technologies for underground and open-pit mining of mineral deposits and characterized by the influence of the dependence of metal extraction on the nature of crushing. The fact is that the smaller the piece of ore for leaching, the contact surface becomes larger, which ensures a maximum yield of metals. However, to obtain the expected granulometric composition of the blasted rock mass with a known effective depth of penetration of the reagent into the ore monolith, it is also important to know the diameter of the well, determined by the technical equipment of the mining process, as well as the distance between the wells and other factors.

Key words: substandard copper ores, heap leaching, crushing, contacts, hydrometallurgy, solvents.

Введение

Геотехнологические методы добычи полезных ископаемых, в том числе подземное и кучное выщелачивание, используются в мировой практике для переработки забалансовых, отвалных и потерянных руд. Наиболее широко такие методы применяются для разработки медных и урановых руд. В то же время имеются большие запасы некондиционных медных, свинцово-цинковых руд, для разработки которых могут быть применены геотехнологические методы.

Дробление руды – один из наиболее важных вопросов подготовки ее к выщелачиванию. Качество дробления руды существенно влияет на эффективность метода выщелачивания. Параметры буровзрывных работ, установленные при традиционной технологии, не обеспечивают требуемого гранулометрического состава руды и равномерного разрыхления, особенно при разрушении крепких руд типа Жезказганских.

В основе процесса выщелачивания металла из руд лежит явление диффузии, характеризующееся весьма низкими скоростями, снижение времени выщелачивания и увеличение доли извлечения металла при прочих постоянных параметрах обратно пропорционально линейному размеру куска. Вследствие, масштаб процесса будет тем больше, чем больше площадь контакта рудного минерала с рабочим раствором.

При подземном и кучном выщелачивании существенным является получение оптимального коэффициента разрыхления руды по отбиваемым слоям для равномерной фильтрации раствора, а также получение фракционного состава руды, заданного химической технологией. Опыт подготовки горной массы заданной степени дробления свидетельствует о том, что средний размер куска пропор-

ционален диаметру буровых скважин и обратно пропорционален удельному расходу ВВ.

За последние десятилетия произошло значительное истощение запасов богатых руд, особенно в промышленно развитых районах. Вследствие этого возникла необходимость поиска и внедрения новых способов производства металлов из нетрадиционных источников сырья. К таким источникам следует отнести окисленные, сульфидные и более или менее богатые труднообогатимые руды цветных металлов. Отвалы забалансовых и некондиционных руд, а также «отработанные» месторождения являются долговременным источником загрязнения окружающей среды за счет самопроизвольного выщелачивания из них меди, цинка, свинца, мышьяка и других металлов. Наиболее рациональным способом избавления от пагубного влияния таких объектов на окружающую среду является организация управляемого кучного и подземного выщелачивания. Таким образом, выщелачивание призвано решить одновременно две задачи: расширить сырьевую базу производства металлов и улучшить экологию данных районов.

В условиях Жезказганского горно-металлургического комбината руды в оставляемых целиках колеблются от 12 до 25%, достигая иногда 40%, за период разработки в разного рода потерях оставлено десятки млн т богатой руды. Ежегодный прирост потерь в целиках с учетом увеличивающейся добычи равен примерно годовой производительности нового медного рудника.

Поэтому изыскание наиболее эффективных методов добычи потерянных, забалансовых и бросовых руд имеет первостепенное значение. Одним из таких методов является подземное и кучное выщелачивание. Успешное решение проблемы добычи меди из разных типов руд способствует их вторичной разработке и максимально полного использованию богатств недр.

Целью настоящей статьи является обследование Жезказганского месторождения и разработка рекомендаций по вовлечению в подземное и кучное выщелачивание наиболее пригодных участков рудного поля.

Материалы и основные методы

По характеру явления растворов все многообразие известных способов и технических решений подземного выщелачивания металлов на месте залегания можно классифицировать на три принципиально гидротехнологические схемы: гидродинамическая, применяемая при выщелачивании изотропных и анизотропных руд направленным напорным потоком раствора реагента; инфильтрационная, применяемая при капиллярном выщелачивании изотропных руд; гидростатическая. Эти схемы в равной мере включают как выщелачивание металлов из руд естественного залегания, так и выщелачивание металлов из руд отбитых и замагистинированных в камерах. Такое расчленение позволяет проанализировать все возможные варианты и выбрать оптимальную схему для любого конкретного месторождения.

При мелком дроблении руды образуется корка, способствующая нарушению циркуляции раствора, при крупном – площадь контакта уменьшается и создаются условия для формирования замкнутой циркуляции раствора [1, 2].

Это определяет необходимость разработки оптимального варианта разрушения горных пород взрывом применительно к требованиям эффективного осуществления подземного выщелачивания скальных руд. Средний линейный размер куска ($d_{cp.}$) определяется:

$$d_{cp.} = \frac{K_1 d_1 + K_2 d_2 + \dots + K_n d_n}{K_1 + K_2 + \dots + K_n}, \quad (1)$$

где $d_{cp.}$ – средний геометрический взвешенный размер куска;

$K_1 \dots K_n$ – процентное содержание кусков различных классов крупности;

$d_1 \dots d_n$ – средний линейный размер куска внутри классов крупности.

Связь между диаметром скважин ($d_{скв.}$) и средним линейным размером куска ($d_{cp.}$) для труднодробимых пород выражается зависимостями (по В.Н. Мосинцу):

$$\text{Для труднодробимых руд } d_{cp.} = d_{скв.} \cdot 1,13-1,15. \quad (2)$$

$$\text{Для легкодробимых руд } d_{cp.} = d_{скв.} \cdot 1,00-1,05. \quad (3)$$

Для определения параметров расположения скважинных зарядов уравнение по определению величины зарядов в зависимости от вместимости скважин, разрушаемого объема и удельного расхода ВВ:

$$\frac{a}{d_{скв.}} = \frac{\sqrt{\pi \cdot L_3 \cdot \delta_{ВВ}}}{4 \cdot L \cdot q}, \quad (4)$$

где a – расстояние между скважинами;

$d_{скв.}$ – диаметр скважин;

L_3 – длина заряда;

$\delta_{ВВ}$ – плотность ВВ;

L – длина скважины;

q – удельный расход ВВ.

Для проведения опытных испытаний сооружен бассейн для кучного выщелачивания медных руд регулируемой высотой навала сырья. Причем основания бассейна залиты кислотостойким бетоном размерами: в длину 25 м, в ширину 12 м. Эти размеры установлены в соответствие с размерами крупногабаритной погрузочной и разгрузочной техники.

Результаты и обсуждение

Систематизация систем подземного выщелачивания и их классификация, подобно классификации систем разработки рудных месторождений, имеет важное значение для дальнейшего развития этих методов. В работе Роберта В. Бартлета [3] приведена классификация систем подземного выщелачивания. При этом под системой подземного выщелачивания понимается совокупность конструктивных элементов участка отработки, обеспечивающих определение порядка и технологии ведения управляемого процесса перевода металла в раствор. Приведенная в работе классификация является первым опытом систематизации методов подземного выщелачивания. Она, конечно, имеет определенные недостатки и требует доработки. В частности, деление систем подземного выщелачивания на классы недостаточно четко. При этом используются одновременно несколько различных признаков – способ вскрытия залежи, состояние обрабатываемого массива, сочетание различных способов отработки.

Более четко разделены системы подземного выщелачивания на группы. Принятый в данном случае отличительный признак – технологические схемы движения выщелачивающих растворов реагента по руде следует считать основным признаком группирования систем в данной классификации.

Гидродинамическая схема основана на использовании постоянного или периодически действующего горизонтального фильтрационного потока раствора реагента, заполняющего все трещины и поры рудоносных пород. Движение потока происходит за счет разности напоров у растворов подающих и дренажных устройств по законам гидравлики, используемых при подземной разработке руд.

Гидродинамическая схема может применяться при выщелачивании металлов из руд, приуроченных как к изотропным в фильтрационном отношении породам, так и к анизотропным, слоистым. Причем, если рудоносные породы обладают низкими фильтрационными свойствами ($K < 0,5$ м/сутки), то необходимо искусственно создать проницаемость массива. Это достигается предварительной подготовкой рудоносных пород к выщелачиванию путем дробления массива руд обычными и ядерными ВВ, химической обработкой, подземным обжигом пород, отбойной и магистинированием руд в камерах и другими методами.

Системы подземного выщелачивания металлов в слабо-наклонных и горизонтальных камерах применяются при отработке горизонтально залегающих и пологопадающих месторождений (с углами падения 0-15°, приуроченных к слабопроницаемым породам ($K < 0,5$ м/сутки).

Эти системы подземного выщелачивания в зависимости от мощности рудных тел и конкретных горно-геологи-

ческих условий разделяются на две основные подгруппы: системы подземного выщелачивания с раздельным магазинированием; отбитой руды (обособленные камеры); системы подземного выщелачивания со сплошным магазинированием; отбитой руды (смежные камеры).

Системы с раздельным магазинированием отбитой руды в обособленных камерах найдут применение при отработке пластовых залежей с углами падения 0-5°, представленных слоистыми анизотропными осадочными породами со средним коэффициентом фильтрации примерно 0,2-1,2 м/сутки. Мощность рудоносных пластов составляет от 4 до 12 м [3].

Залежи разделяются на блоки, включающие камеры с магазинированной в зажатой среде рудой и междукамерные целики. В середине целиков проходят дренажные горные выработки, из которых на всю мощность рудоносных пород разделяют дренажные щели.

Выщелачивание металла из замагазинированных в камерах руд осуществляют горизонтальным гидродинамическим потоком реагента, который подают в камеру по трубопроводам за растворонепроницаемую перемычку под некоторым избыточным давлением по отношению к кровле камеры. Прием продуктивных растворов осуществляется в дренажные щели, которые являются общими для смежных блоков. Далее растворы транспортируются по горным выработкам к общему растворосборнику и насосами перекачиваются на технологическую сорбционную установку для извлечения из них металла.

Подготовительные работы заключаются в проведении откаточных полевых штреков, восстающих до подошвы рудного пласта и оконтуривающих блок рудных дренажных штреков, проходимых на уровне почв пласта.

Рассмотренный вариант систем подземного выщелачивания применим при выщелачивании металла из слабопроницаемых руд, когда раствор реагента имеет возможность проникнуть в дренажную щель из камеры с замагазинированной рудой через фильтрующий целик.

В условиях водонепроницаемых рудоносных пород целики по контуру блока должны быть обураны дренажными скважинами, оборудованными перфорированными трубами с задвижками. В этом случае дренажные выработки должны быть открытыми. Такая конструкция блока позволяет создать в камере с замагазинированной рудой направленный гидродинамический поток раствора реагента с регулируемой производительностью и временем контакта с отбитой рудой. Еще одним важным фактором рассмотренных конструкций блоков является то, что отбитая в зажатой среде руда сама поддерживает неустойчивую кровлю после выщелачивания.

Для переработки низкокачественных медных руд внимание исследователей и производителей привлекли методы кучного и подземного выщелачивания меди, к которым применен метод бактериального выщелачивания [4-5]. Предложено [6] проводить процессы подземного и кучного выщелачивания медных руд в три стадии, что обеспечивает увеличение извлечения меди из руды и сокращение расхода серной кислоты. Для этого на первой стадии вскрываются легкорастворимые формы меди, на

второй стадии вводится пауза между орошениями для активизации окислительных процессов, третья стадия – финальная, на которой медь выщелачивается из труднорастворимых форм сульфидной ее части. На испытаниях достигнуто 80%-е извлечение меди и расход серной кислоты – не более 5 т/т меди. На опытном участке Фиадонского рудника Садонского СЦК проведены пилотные испытания по извлечению 30 ценных компонентов, в том числе меди, из продуктивных растворов [7]. Технология включала сорбцию свинца и цинка на анионите АМП с отделением от железа и меди с последующим элюированием водой. Медь извлекается цементацией железом из раствора после сорбционного удаления свинца и цинка. В работе [8] разработана технология очистки медных концентратов (на примере Солнечного и Приморского ГОКов) от мышьяка с применением бактериального окисления. Руда подвергается измельчению до 200 меш. и при $T : Ж = 1:5$, температуре 30°C и pH 2, при барботаже воздухом подвергается обработке с использованием адаптированных микроорганизмов. Продолжительность бактериального выщелачивания составила 60-100 часов. Медные концентраты после БВ подаются непосредственно в медную плавку [9].

Избыточное увлажнение предварительно разрушенных горных пород позволяет повысить скорость продольных волн по ним до 1800 м/с и плотность до 2100 кг/м³. Это позволяет резко повысить качество дробления таких пород при увеличении к.п.д. взрыва и снизить удельный расход ВВ. Если при заполнении трещин, пустот воздухом напряжения на фронте волны снижаются по отношению к монолитным средам в 25-100 раз, в зависимости от ширины неоднородностей, то при заполнении их водой напряжения в фронте волны снижаются по отношению монолитным средам лишь на 25-30%.

Важной особенностью дробления нарушенных пород является то, что это разрушение достигается лишь в результате соударения разрушенных масс. Это обстоятельство при повторном разрушении горных пород требует их зажима, что ведет к снижению скорости смещения последующих отдельных, и в связи с этим к увеличению энергии соударения. Для повышения собственно энергии соударения как первой, так и последующих отдельных целесообразно на границе раздела сред получение наиболее однородного первичного поля напряжений при максимально возможной из условий безопасной кинетической энергии разлета энергии волн.

Особенностью дробления нарушенных горных пород является резкое затухание волн напряжений и формирование в связи с этим лишь первичного поля напряжений при полном отсутствии вторичного поля напряжений. Это обстоятельство резко сокращает возможные в таких породах методы управления энергией взрыва.

Сырьем для переработки является труднообогатимая окисленная медная руда Жезказганского месторождения, в частности Малого-Спасского карьера Северо-Жезказганского рудника. Комплекс пород, слагающий район месторождения, представлен чередующимися слоями красных и серых песчаников алевролитов с прослоями аргиллитов, конгломератов и кремненных

известняков. Медное оруденение приурочено к серым песчаникам. Крепость пород аргиллитов и алевролитов – 7-10, серого песчаника – 10-16. Плотность руд и пород в массиве 2,5-2,6 г/м³.

Характеристика окисленных руд – вкрапленность минералов, способность к декриптации и шламообразованию при обработке кислотами, высокая кислотопоглощающая способность определила основное положение при разработке технологии – выщелачивание в малых кучах, высотой не более 1 м, с предварительной обработкой руды концентрированной кислотой кучи перед ее промывкой [10].

Такая технология в отличие от общеизвестного кучного выщелачивания позволяет за короткий срок достигнуть высокого уровня извлечения полезных компонентов при сравнительно низком расходе растворителей. При этом используется оборотное водоснабжение, исключающее образование жидких отходов. Кучное выщелачивание меди и комплексное использование окисленной руды включает следующие операции:

- 1) дробление и грохочение;
- 2) обработку кислотой;
- 3) выдержку;
- 4) выщелачивание;
- 5) отстаивание обогащенного раствора;
- 6) цементацию меди;
- 7) отстаивание оборотного раствора;
- 8) регенерацию выщелачивающего раствора;
- 9) направление твердых отходов на складку.

Руды средней забойной крупности 300 мм дробятся до размеров частиц -40 + 00 мм, смачиваются концентрированной серной кислотой из расчета 0,08-0,09 т/т руды в течение 1-2 мин, выдерживаются в куче (610 т) до 24 часов, затем переносятся в камеру и укладываются слоем в 1 м (0,5 суток), выщелачиваются в камере (4 камеры) серной кислотой концентрацией 0,5 г/л (3 суток). Общий расход кислоты в процессе 0,1 т/т руды. Выгрузка отходов руды после выщелачивания – 0,5 суток. Общая продолжительность цикла в камере 4 суток (3 суток выщелачивания, 1 сутки – промывка выщелоченной руды водой, загрузка и выгрузка), обогащенный металлом раствор отстаивается от шламов со скоростью 0,1 см/мин, затем из осветленного раствора извлекается медь цементацией на железном скрапе или другими способами. Продолжительность контакта со скрапом – 6-10 мин, расход скрапа 1,5 т/т меди. В качестве скрапа могут быть использованы чугунные опилки, стальная стружка и другие отходы производства.

Выводы

1. Из данных зарубежного и отечественного опыта кучного и подземного выщелачивания медных руд следует, что переработка различных бедных и некондиционных руд методом геотехнологии является чрезвычайно перспективным в части полноты и эффективности использования минерального сырья.

В данной статье предметом исследований и промышленной реализации выбраны медные руды, которые могут быть переработаны кучным или подземным выщелачиванием и которые по технологическим или экономическим соображениям не могут быть переработаны по традиционным технологиям.

1. Горно-геологические особенности Жезказганского месторождения (неглубокое залегание, водонепроницаемый экран, отсутствие капитальных сооружений на поверхности, угол залегания и т.п.), выявленные в пределах ранее отработанных шахтных полей №№1, 2, 3, 7, 10, 11, 12, 26, 34, 39, «Петро-Ц», «Петро-2», «Петро-4» допускают постановку испытаний геотехнологического метода извлечения металла руд.

2. За 10 месяцев из неокисленно-сульфидной руды крупностью -20 мм можно выщелочить 50-80% меди. За тот же период из халькозиновой руды выщелочено 30-50% меди, а из борнит-халькопиритовов 5-12%, что свидетельствует о малой эффективности переработки последней методом выщелачивания. Лучшими растворителями являются серная кислота (5-10 г/л) и подкисленный сульфат окиси железа (5 г/л).

3. Расход серной кислоты по мере выщелачивания и развития окислительных процессов снижается до 1,6-3,2 т/т меди для окисленной руды и до 2,5-4,1 т/т для халькозиновой руды, что делает серно-кислотное выщелачивание вполне приемлемым для этих руд по технико-экономическим показателям.

4. Предложенные варианты систем подземного выщелачивания (система подземного выщелачивания металлов из руд, отбитых при помощи обычных буровзрывных работ с последующим магазинированием и система подземного выщелачивания с разрушением опорных целиков и налегающей толщи пород) могут найти применение в условиях отработанной части Жезказганского месторождения.

Статья подготовлена в рамках грантового финансирования по научным и (или) научно-техническим проектам «Технология получения препарата-адаптогена на основе гуматов из угля и экстрактов дикорастущих растений для создания устойчивого растительного покрова на техногенных объектах (АР14871298)».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аксенов А.В. Кучное выщелачивание меди из окисленных руд. Особенности процесса применительно к российским климатическим условиям. / А.В. Аксенов, А.А. Васильев, А.Г. Никитенко. // ВЕСТНИК ИрГТУ. 2014. №1 (84). С. 72-75 (на русском языке)
2. Халезов Б.Д. Исследования и разработка технологии кучного выщелачивания медных и медно-цинковых руд: автореф. дис ... д-р. техн. наук. Екатеринбург: 2009. 548 с. (на русском языке)
3. Robert W. Bartlett. Извлечение металлов из руд методом кучного выщелачивания. // Металлургическое дело и материалы. 1997. Т. 28. С. 529-545 (на английском языке)

4. Bar D.E. Статистический подход к эксперименту по выщелачиванию сульфида меди из руд с использованием выщелачивающей серной кислоты. / D.E. Bar, D.A. Barkat. // Журнал горной науки. 2016. Т. 52. Вып. 3. С. 569-575 (на английском языке)
5. Jochen Petersen. Кучное выщелачивание как ключевая технология извлечения полезных ископаемых из бедных руд – краткий обзор. // Гидрометаллургия. 2016. Т. 165. Ч. 1. С. 206-212 (на английском языке)
6. Xi-liang Sun. Технологические условия и кинетика выщелачивания меди из комплексных меднооксидных руд. / Xi-liang Sun, Bai-zhen Chen, Xi-yun Yang & You-yuan Liu. // Журнал Центрально-Южного технологического университета. 2009. Т. 16. С. 936-941 (на английском языке)
7. Каирбеков Ж.К. Геотехнология в процессе выщелачивания Жезказганских медистых песчаников. / Ж.К. Каирбеков, Е.А. Аубакиров, Н. Жалгасулы. // Промышленность Казахстана. 2017. №1. С.64-68 (на русском языке)
8. Жалгасулы Н. Исследование выщелачиваемости медных руд Жезказганского месторождения. / Н. Жалгасулы, А.В. Когут, А.А. Исмаилова. // Горные науки и технологии. 2018. №2. С. 14-22 (на русском языке)
9. Захарьян С.В. Исследование и разработка гидрометаллургической технологии переработки бедного медно-сульфидного сырья Жезказганского региона с извлечением меди и сопутствующих ценных компонентов сорбционным методом: дисс. ... ученой степени д-ра техн. наук. Екатеринбург, Караганда: 2019. 362 с. (на русском языке)
10. Рогов А.Е., Жатқанбаев Е. Кинетика подземного скважинного выщелачивания урана: Алматы, 2009, С. 204 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Аксенов А.В. Тотыққан кендерден мысты үйіндімен шаймалау. Процесінің ресейлік климаттық жағдайларға қатысты ерекшеліктері. / А.В. Аксенов, А.А. Васильев, А.Г. Никитенко. // ХАТУ ХАБАРШЫСЫ. 2014. №1 (84). С. 72-75 (орыс тілінде)
2. Халезов Б.Д. Мыс және мыс-мырыш кендерін үйінді сілтісіздендіру технологиясын зерттеу және әзірлеу: автореф. техн. ғылымдарының докторына диссертация. Екатеринбург: 2009. 548 б. (орыс тілінде)
3. Роберт В. Барлетт. Үйінді сілтісіздендіру әдісімен кендерден металл алу. // Металлургиялық және материалдар операциялары. 1997. Т. 28. Б. 529-545 (ағылшын тілінде)
4. Бар Д.Э. Күкірт қышқылын пайдалана отырып, кендерден мыс сульфидін сілтілеу экспериментіне статистикалық көзқарас. / Д.Э. Бар, Д.А. Баркат. // Тау-кен ғылымының журналы. 2016. Т. 52. Шығ. 3. Б. 569-575 (ағылшын тілінде)
5. Йохен Петерсен. Үйінді шаймалау төмен сұрыпты кендерден құндылықтарды алудың негізгі технологиясы ретінде – қысқаша шолу. // Гидрометаллургия. 2016. Т. 165. Бөл. 1. Б. 206-212 (ағылшын тілінде)
6. Си-лян Сун. Күрделі мыс оксидті рудасынан мысты сілтілеудің технологиялық шарттары мен кинетикасы. / Си-лян Сун, Бай-жэн Чен, Си-юнь Ян, Ю-юань Лю. // Орталық Оңтүстік технология университетінің журналы. 2009. Т. 16. Б. 936-941 (ағылшын тілінде)
7. Қайырбеков Ж.Қ. Жезқазған мыс құмтастарын шаймалау процесіндегі геотехнология. / Ж.Қ. Қайырбеков, Е.А. Әубәкіров, Н. Жалғасұлы // Қазақстан өнеркәсібі. 2017. №1. Б. 64-68 (орыс тілінде)
8. Жалғасұлы Н. Жезқазған кен орнының мыс рудаларының сілтілену қабілетін зерттеу. / Н. Жалғасұлы, А.В. Когут, А.А. Исмаилова. // Тау-кен ғылымдары және технологиялары. 2018. №2. Б. 14-22 (орыс тілінде)
9. Захарьян С.В. Жезқазған аймағының нашар мыс-сульфидті шикізатын сорбциялық әдіспен мыс және соған байланысты бағалы компоненттерді алу арқылы өңдеудің гидрометаллургиялық технологиясын зерттеу және әзірлеу: техника ғылымдарының докторы ғылыми дәрежесін алу үшін диссертация. Екатеринбург, Қарағанды: 2019. 362 б. (орыс тілінде)
10. Рогов А.Е., Жатқанбаев Е. Уранды жер асты ұңғымаларын шаймалау кинетикасы: Алматы, 2009, 204 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Aksenov A.V. Kuchnoe vyshchelachivanie medi iz okislennykh rud. Osobennosti protsessa primenitel'no k rossiiskim klimaticheskim uslovii. / A.V. Aksenov, A.A. Vasil'ev, A.G. Nikitenko. // VESTNIK IrGTU. №1 (84) 2014. S. 72-75 [Heap leaching of copper from oxidized ores. Features of the process in relation to Russian climatic conditions. // BULLETIN of ISTU. 2014. №1 (84). P. 72-75] (in Russian)

2. *Khalezov B. D. Issledovaniya i razrabotka tekhnologii kuchnogo vyshchelachivaniya mednykh i medno-tsinkovykh rud: avtoref. dis. ... d-r. tekhn. nauk., Ekaterinburg: 2009. 548 c. [Research and development of technology for heap leaching of copper and copper-zinc ores: abstract of thesis. dis. ... dr. tech. Sci. Ekaterinburg: 2009. 548 p.] (in Russian)*
3. *Robert W. Bartlett. Metal extraction from ores by heap leaching. // Metallurgical and Materials Transactions B. 1997. Vol.28, P. 529-545 (in English)*
4. *Bar D.E. Statistical approach to the experimental of the leaching of copper sulfide from the ores using lixiviant sulfuric acid. / D.E. Bar, D.A. Barkat. // Journal of mining science. 2016. Vol. 52. Issue 3. P. 569-575 (in English)*
5. *Jochen Petersen. Heap leaching as a key technology for recovery of values from low-grade ores – a brief overview. // Hydrometallurgy. 2016. Vol. 165. Part 1. P. 206-212 (in English)*
6. *Xi-liang Sun. Technological conditions and kinetics of leaching copper from complex copper oxide ore. / Xi-liang Sun, Bai-zhen Chen, Xi-yun Yang & You-yuan Liu. // Journal of Central South University of Technology. 2009. Vol. 16. P. 936-941 (in English)*
7. *Kairbekov Zh.K. Geotekhnologiya v protsesse vyshchelachivaniya Zhezkazganskikh medistykh peschanikov. / Zh.K. Kairbekov, E.A. Aubakirov, N. Zhalgasuly. // Promyshlennost' Kazakhstana. 2017. №1. S.64-68 [Geotechnology in the process of leaching of Zhezkazgan cuprous sandstones. // Industry of Kazakhstan. 2017. №1. P. 64-68] (in Russian)*
8. *Zhalgasuly N. Issledovanie vyshchelachivaemosti mednykh rud Zhezkazganskogo mestorozhdeniya. / N. Zhalgasuly, A.V. Kogut, A.A. Ismailova. // Gornye nauki i tekhnologii. 2018. №2. S. 14-22 [Study of the leachability of copper ores of the Zhezkazgan deposit. // Mining Sciences and Technologies. 2018. №2. P. 14-22] (in Russian)*
9. *Zakharyan Semyon Vladimirovich. Issledovanie i razrabotka gidrometallurgicheskoi tekhnologii pererabotki bednogo medno-sul'fidnogo syr'ya Zhezkazganskogo regiona s izvlecheniem medi i soputstvuyushchikh tsennykh komponentov sorbtionnym metodom: diss. ... uchenoi stepeni d-ra tekhn. nauk. Ekaterinburg, Karaganda: 2019. 362 s. [Research and development of hydrometallurgical technology for processing poor copper-sulfide raw materials of the Zhezkazgan region with the extraction of copper and associated valuable components using the sorption method: dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Ekaterinburg, Karaganda: 2019. 362 p.] (in Russian)*
10. *Rogov A.E., Zhatkanbaev E. Kinetika podzemnogo skvazhinnogo vyshchelachivaniya urana: Almaty, 2009, S. 204 [Kinetics of underground borehole leaching of uranium: Almaty, 2009. P. 204] (in Russian)*

Сведения об авторах:

Жалгасулы Н., д.т.н., заведующий отделом «Экология и безопасность горных работ», профессор, академик Международной академии «Экология», Институт горного дела им. Д.А. Кунаева (г. Алматы, Казахстан), aliya-ismailova@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7550-9782>

Бектибаев У.А., зав. лаб. «Физико-химические способы переработки минерального сырья», СНС Института горного дела им. Д.А. Кунаева (г. Алматы, Казахстан), uays.bektibaev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0273-9657>

Салкынов А.Т., к.т.н., руководитель компании ТОО «Алгоритм» (г. Караганда, Казахстан), arnat@algeoritm.kz; <https://orcid.org/0000-0001-8177-1293>

Исмаилова А.А., PhD, зав. лаб. «Экология и рациональное освоение недр», СНС Института горного дела им. Д.А. Кунаева (г. Алматы, Казахстан) aliya-ismailova@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5705-3363>

Авторлар туралы мәліметтер:

Жалгасулы Н.Ж., Д.А. Қонаев атындағы Кен істері институтының «Кен істер қауіпсіздігі мен экология» бөлімінің меңгерушісі, т.ғ. д., проф. (Алматы қ., Қазақстан)

Бектибаев У.А., Д.А. Қонаев атындағы Кен істері институтының «Минералды шикізатты өңдеудің физикалық-химиялық әдістер» зертханасының меңгерушісі, а.ғ.к. (Алматы қ., Қазақстан)

Салкынов А.Т., PhD докторы, «Алгоритм» ҒӨК ЖШС компаниясының басшысы, (Қарағанды қ., Қазақстан)

Исмаилова А.А., PhD, А. Қонаев атындағы Кен істері институтының «Экология және жер қойнауын тиімді пайдалану» зертханасының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Zhalgasuly N.Zh., Professor, Head of the Department «Ecology and Safety of Mining» of the D.A. Kunaev Institute of Mining, Doctor of Technical Sciences (Almaty, Kazakhstan)

Bektibaev U.A., Acting Head of the laboratory «Physico-chemical methods of processing mineral raw materials» of the D.A. Kunaev Institute of Mining, SNS (Almaty, Kazakhstan)

Salkynov A.T., PhD, Director of «Algeorhythm» LLP (Karaganda, Kazakhstan)

Ismailova A.A., PhD, head. Laboratory of «Ecology and Rational Development of Mineral Resources» of the D.A. Kunaev Institute of Mining (Almaty, Kazakhstan)