

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2019, №1, Том 11 / 2019, No 1, Vol 11 <https://esj.today/issue-1-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/51NZVN119.pdf>

Статья поступила в редакцию 23.01.2019; опубликована 14.03.2019

Ссылка для цитирования этой статьи:

Воробьев А.Е., Тчаро Х. Основные факторы, определяющие эффективность орошения штабеля КВ // Вестник Евразийской науки, 2019 №1, <https://esj.today/PDF/51NZVN119.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Vorob'ev A.E., Tcharo Kh. (2019). The main factors determining the efficiency of irrigation of the HL stack. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 1(11). Available at: <https://esj.today/PDF/51NZVN119.pdf> (in Russian)

УДК 55

Воробьев Александр Егорович

НАО «Атырауский университет нефти и газа», Атырау, Казахстан

Проректор по научной деятельности инновациям

Доктор технических наук, профессор

E-mail: fogel_al@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7324-428X>

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=127898

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/C-1918-2016>

SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7201693273>

Тчаро Хоноре

Университет Абомей-Калави, Того, Республика Бенин

Руководитель группы международных научных проектов

Основные факторы, определяющие эффективность орошения штабеля КВ

Аннотация. Эффективность орошения штабелей является важным составляющим, обеспечивающим интенсификацию процесса кучного выщелачивания при добыче металлов из бедных руд. Изучение процесса орошения при кучном выщелачивании должно быть направлено на улучшение экономико-технологической эффективности применяемых методов орошения.

В связи с этим, исследование факторов влияющих на испарение выщелачивающих растворов при КВ позволит принять новые и усовершенствованные решения, касающихся устройств и способов подачи растворов. Рассмотрено также влияние крупности и агломерации на эффективности орошения.

Однако при улучшении фильтрационных свойств массива руд необходимо избегать формирования зон различной проницаемости (коэффициент фильтрации должен находиться в пределах допустимого значения для эффективного выщелачивания руды при кучном выщелачивании).

Необходимо отметить, что все эти мероприятия не обеспечивают полноценную эффективность интенсификации процесса кучного выщелачивания, предотвращение испарения технологических растворов, их разбавления, охлаждения и другие проблемы.

Ключевые слова: кучное выщелачивание; дробление; агломерация; орошение; интенсификация; технологические растворы; реагенты; испарение; экранирование

Во-многом, эффективность эксплуатации объектов КВ определяется характеристиками и показателями их орошения.

Орошение штабелей КВ осуществляется с применением различных технологических растворов. Применяемые при кучном выщелачивании рабочие реагенты варьируются в зависимости от вида извлекаемых из руд металлов. Так, для извлечения золота и серебра применяют преимущественно цианид натрия (NaCN) или цианид калия (KCN) концентрацией 0,01–0,05 %; меди, никеля, урана и др. – серную кислоту (H₂SO₄).

Выщелачивающие растворы при этом выполняют следующие функции:

- обеспечения благоприятного смачивания кусков руды для последующего выщелачивания благородных металлов;
- массопереноса продуктивных металлосодержащих растворов под влиянием их собственного веса.

Перечисленные физико-химические функции технологических растворов имеют решающее значение в обеспечении повышения эффективности извлечения металлов из руд.

Необходимо отметить, что показатели извлечения металлов из руд зависят от многих переменных. Однако тот, который может быть отнесен к первостепенной важности – это равномерное распределение растворов на поверхности и внутри штабеля КВ для обеспечения полной его насыщенности и, таким образом, благоприятного выщелачивания металлов. Поэтому, при реализации способа кучного выщелачивания, в штабеле КВ следует поддерживать постоянное значение требуемой концентрации реагентов в технологических растворах.

Обеспечение оптимального непрерывного движения раствора цианида внутри штабеля КВ является весьма важным компонентом при кучном выщелачивании золота, позволяющим существенно снизить уровень испарения технологических растворов за счет отсутствия задержки их на поверхности штабеля КВ. Однако, даже в тех случаях, когда раствор подается прерывными циклами, все равно некоторое количество воды и реагента неизбежно теряются. В связи с этим появляется необходимость в добавлении воды и реагентов для балансировки потерь от испарения, просачивания, от различных незапланированных химических реакций, происходящих в массиве штабеля, а также от любых других потерь технологических растворов при кучном выщелачивании.

Управление технологическими растворами во-многом зависит от способов орошения. В практике кучного выщелачивания штабеля КВ необходимо выбрать правильный метод распределения растворов по массиву штабеля руды. Поэтому требуется тщательное изучение существующих способов орошения.

Главным требованием к оросительной системе является обеспечение равномерности (однородности) смачивания кусков руды по всему штабелю КВ. При этом в процессе распределения технологических растворов на поверхности штабеля руды, наибольший контакт получают относительно небольшие (20–30 мм) куски.

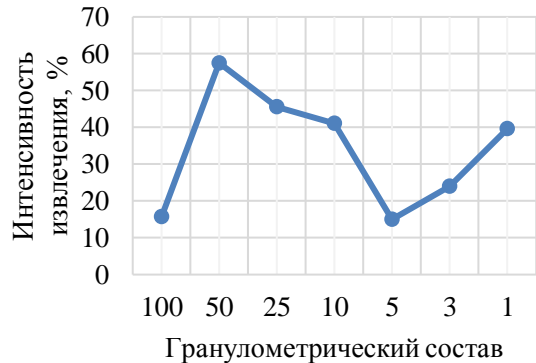
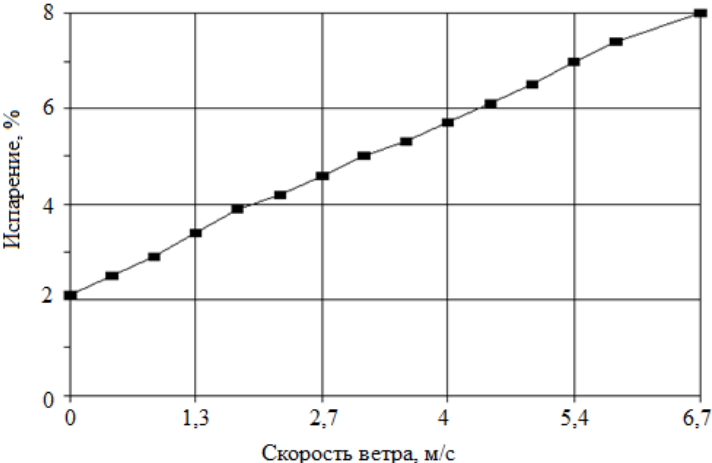
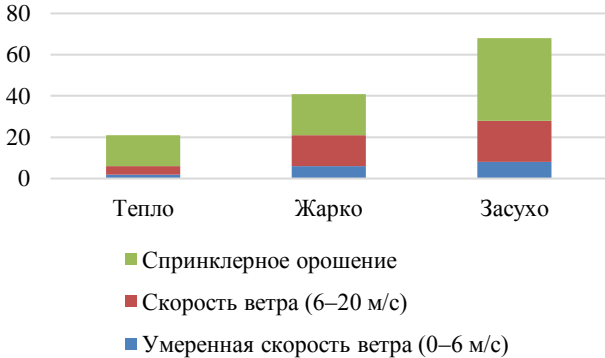
По сравнению с мелкими, крупные куски не полностью обволакиваются растворами. В этом случае контакт между кусками руды и растворами выщелачивания осуществляется путем омывания поверхности кусков виде струй и капель. Независимо от направления их движения, миграция растворов осуществляется из смоченных соседних кусков до воздушно-сухого или влажного состояния.

Кроме гранулометрического состава (табл. 1) эффективность выбора системы орошения определяется с учетом экономического фактора, географических и климатических условий,

ветрового усилия и скорости выпуска продуктивных растворов через основание штабеля КВ. Однако повышение экологической безопасности (в том числе, защита подземных и наземных водных ресурсов от технологических растворов) за счет исключения испарения растворов и реагентов, а также снижение воздействия атмосферных осадков является не менее важным фактором.

Таблица 1

Исследование факторов влияющих на испарение выщелачивающих растворов при КВ

Фактор	Эффективность фактора
Гранулометрический состав руды	 <p>Интенсивность извлечения, %</p> <p>Гранулометрический состав</p>
Ветровое усилие	 <p>Испарение, %</p> <p>Скорость ветра, м/с</p>
Климатические условия Африки	 <p>Тепло Жарко Засухо</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Спринклерное орошение ■ Скорость ветра (6–20 м/с) ■ Умеренная скорость ветра (0–6 м/с)

Фактор	Эффективность фактора										
Применяемый способ орошения	<table border="1"> <caption>Эффективность фактора: Применяемый способ орошения</caption> <thead> <tr> <th>Способ орошения</th> <th>Эффективность (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Орошение изнутри штабеля</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>Капельное орошение</td> <td>4%</td> </tr> <tr> <td>Орошение спринглерами с крупными каплями</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Прудковое орошение</td> <td>30%</td> </tr> </tbody> </table>	Способ орошения	Эффективность (%)	Орошение изнутри штабеля	2%	Капельное орошение	4%	Орошение спринглерами с крупными каплями	15%	Прудковое орошение	30%
Способ орошения	Эффективность (%)										
Орошение изнутри штабеля	2%										
Капельное орошение	4%										
Орошение спринглерами с крупными каплями	15%										
Прудковое орошение	30%										
Скорость выпуска растворов	<table border="1"> <caption>Скорость выпуска растворов</caption> <thead> <tr> <th>Скорость фильтрации растворов, см/сут.</th> <th>Содержание глинистых материалов, %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>15</td> </tr> </tbody> </table>	Скорость фильтрации растворов, см/сут.	Содержание глинистых материалов, %	0	60	10	45	20	15		
Скорость фильтрации растворов, см/сут.	Содержание глинистых материалов, %										
0	60										
10	45										
20	15										
Экранирование штабеля КВ	<table border="1"> <caption>Экранирование штабеля КВ</caption> <thead> <tr> <th>Метод экранирования</th> <th>Потери растворов (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Только основание штабеля</td> <td>30%</td> </tr> <tr> <td>Основание и боковые откосы штабеля</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Основание, откосы и поверхности штабеля</td> <td>3%</td> </tr> </tbody> </table>	Метод экранирования	Потери растворов (%)	Только основание штабеля	30%	Основание и боковые откосы штабеля	15%	Основание, откосы и поверхности штабеля	3%		
Метод экранирования	Потери растворов (%)										
Только основание штабеля	30%										
Основание и боковые откосы штабеля	15%										
Основание, откосы и поверхности штабеля	3%										

По виду обработки известны следующие способы подачи технологических растворов при кучном выщелачивании различных металлов: орошение разбрызгиванием или распылением, затоплением и рассредоточением с помощью взрыва [1]. В результате на практике кучного выщелачивания, способы подачи технологических растворов делятся на: гидростатические, фильтрационные, инфильтрационные и импульсные.

При гидростатическом способе продуктивные растворы выпускаются через нижнюю часть штабеля за счет удельного веса технологических растворов. Гидростатический процесс протекает таким образом: поровое пространства при просачивании заполняется технологическими растворами, образуются силы, удерживающие их в течении определенного времени; когда силы притяжения больше сил удерживающих, происходит движение и выпуск продуктивных металлоносных растворов т. е. происходит капиллярное действие естественным образом, втягивающее растворов через любые пустоты или трещины массивов руды кучного выщелачивания.

Под фильтрационным понимают непрерывное перемещение выщелачивающих растворов через вмещающее пространство минеральных матриц штабеля, скальных пород, а

также искусственных материалов и т. д. [7] (т. е. в пористой и/или трещиноватой среде через систему открытых пористых каналов и трещин) при полном его насыщения.

Этот способ применяется во многих технологических процессах. Однако в малотрещиноватых породах фильтрационный процесс затруднен, поэтому при кучном выщелачивании, подготовка пород имеет важное значение.

Наиболее широкое применение в геотехнологической практике нашел инфильтрационный способ. Он подразумевает просачивание растворов с поверхности внутрь штабеля при неполном его насыщении под воздействием гравитационных сил, тянущих растворов вертикально вниз независимо от вида их поступления в штабель. Условием инфильтрации является наличие немонолитности горных пород, т. е. присутствие в матрице массива горных пород пор, пустот и трещин самых различных формы и размера [6].

Причинами снижения коэффициента инфильтрации может служить низкое качество выщелачивающих растворов, а также присутствие мелких частиц, способных закупорить поровое пространство или же повышенное уплотнение поверхности рудного массива.

При непрерывности перколяции выщелачивающих растворов в межкусковом пространстве даже для высокообъемных массивов, физико-химическое взаимодействие между элементами системы “растворитель – руда – кислород воздуха” наиболее благоприятно на поверхности (во времени и в пространстве), чем внутри массива штабеля.

Рассмотренные особенности взаимодействия выщелачивающих растворов с золотосодержащей горной рудой позволяют осуществить классификацию способов орошения штабеля КВ, базируясь на основополагающих факторах (табл. 1) (рис. 1), определяющих эффективность процесса кучного выщелачивания руд.

Таблица 1

**Факторы, влияющие на эффективность орошения
выщелачиваемой руды технологическими растворами**

Факторы	Вид подачи
Способ подачи растворов	гидростатический, фильтрационный, инфильтрационный, импульсный
Вид обработки технологическими растворами	распыление, разбрызгивание, затопление, обработка с помощью взрыва
Поступление растворов в выщелачиваемый массив	сверху вниз, снизу вверх, из центра к периферии, от боковых поверхностей штабеля к центру
Расположение устройств, подающих растворов внутри массива	горизонтальное, вертикальное, на поверхности массива, на боковые поверхности штабеля
Способ распределение технологических растворов	обычный, рассредоточенный с помощью взрыва
Силы, определяющие миграцию технологических растворов	гравитационная, термоградиент, давление, градиент концентрации, объем, наложение электромагнитных полей, возбуждение различных колебаний, радиоактивное излучение
Способ интенсификации процесса выщелачивания	подогрев, насыщение кислородом, предварительная активация, электромагнитное воздействие, бактерии, отсасывание раствора вакуумным насосом, введение окислителей, наложение электромагнитных полей, возбуждение различных колебаний, радиоактивного излучения
Тип активных агентов	кислоты, щелочи, бактерии, органические соединения, комплексные соединения
Режим орошение	напорный, безнапорный
Время воздействия выщелачивающих растворов	постоянно, периодически

Для понимания механизма фильтрационного и инфильтрационного процессов необходимо учитывать следующие закономерности:

- скорость инфильтрации логарифмически пропорционально скорости перколяции;
- чем больше скорости перколяции, тем больше скорости инфильтрации;
- скорость перколяции пропорциональна размера кусков руды.

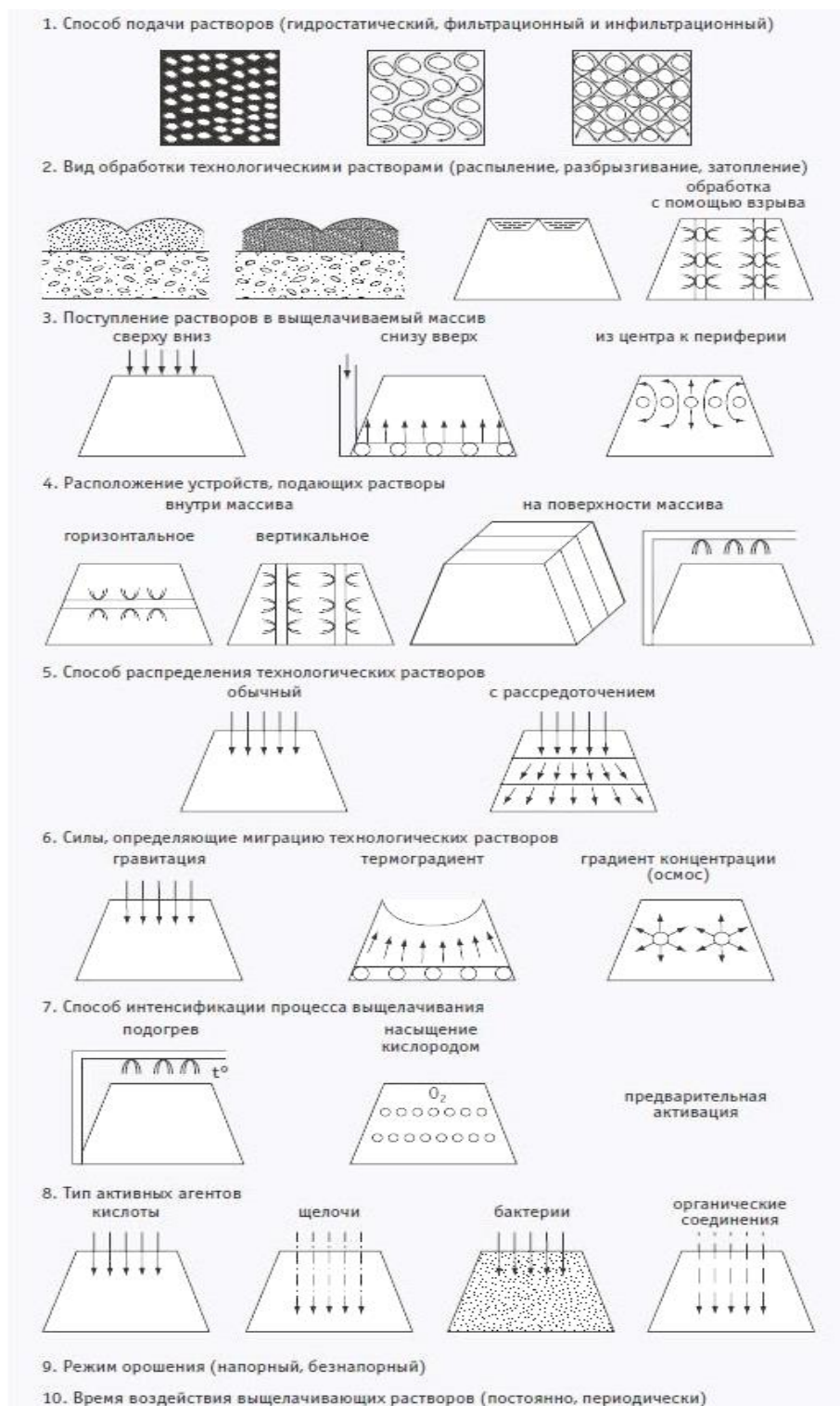


Рисунок 1. Типизация способов орошения штабелей КВ [3]

Импульсным является один из альтернативных методов подачи выщелачивающих растворов, обеспечивающий повышение эффективности проникновения растворов внутри штабеля. Импульсное нагнетание подразумевает довольно кратковременную подачу рабочих растворов под некоторым давлением. В результате создается напряжение в виде волновых сил, способствующих образованию разветвленных трещин в массиве штабеле КВ.

Чередование циклов «смачивание – сушка» снижают скорость инфильтрации, что приводит к более быстрому ускорению и более высокой однородности просачивания, чем при непрерывном орошении потоков. Преимущество данного способа является обеспечение постоянной частоты пульсации и равномерной подачи выщелачивающих растворов.

Считается, что метод объединения ирригационных и покоящихся импульсов снижает эффекты каналирования из-за выхода растворов из пор в течение остаточного цикла, что позволяет пористым капиллярным силам направить следующий импульс жидкости в кусок руды. По результатам исследования сконструированного штабеля КВ низкосортной руды было рекомендована более низкая частота его орошения или импульсное выщелачивание для улучшения процесса выщелачивания металла.

В соответствии с проведенными исследованиями начальный период смачивания может оказать значительное влияние на производительность установки КВ.

При инфильтрационном выщелачивании при кучном выщелачивании горная масса обрабатывается в процессе разбрызгивания рабочих растворов на ее поверхности, при затоплении (с помощью канавок, прудков или траншей) матрицы горных пород технологическими растворами, подачи их через перфорированные оросительные трубопроводы, обработки с помощью взрыва или сочетанием различных способов.

Разбрызгивание по поверхности массива – это более оптимальный способ равномерного смачивания при одноэтажной обработке штабеля КВ [1; 5]. Этот метод применяют преимущественно для обработки штабелей с крупногабаритными размерами кусков руды относительно небольшой мощности.

При многоэтажной обработке штабелей предусматривается прежде всего подача рабочих растворов с помощью канавок, прудков установленных на поверхностях штабеля (на верхнем основании и/или боковых поверхностях). Возможность использования этого метода обусловлена оценкой следующего ряда факторов: уровня испарения, свойств выщелачиваемых руд, проницаемости массива руды.

Затопление обычно применяется в засушливом климате для снижения испарения и осуществляется путем предварительного образования неглубоких однопромежуточных канавок по всей ширине штабеля. Затем устанавливаются в канавах перфорированные трубы 100 мм диаметра и засыпают их гравием, и на подготовленную таким образом площадку с приемным дренажем укладывают 25 мм куски руды до образования слоя высотой 6–9 м [1]. На концах заглубленных труб соединены два параллельные трубы из поливинилхлорида диаметром 150 мм, по которым продуктивные растворы после выщелачивания направляют в приемные баки.

Выбор данного способа осуществляется при выявлении неэффективности разбрызгивания, а также при выщелачивании низкопористых штабелей. При пористости материала более 30 м/сут. применение затопления приводит к перенасыщению рудного штабеля, что крайне нежелательно.

В частных случаях можно осуществлять одноразовое затопление с целью увеличению фильтрационной способности за счет сжимаемости штабеля технологическими растворами и газами (воздух, O₂). Эта операция, длительность секции, которая составляет 30–60 минут при

периодичности 1–4 раз в сутки, позволяет покрыть поверхность слоем раствора до 10 см и более.

При чем в процессе затопления малопроницаемых участков, следует избегать превращения их в энергично фильтрующих [6]. На зарубежной практике, как правило, оптимальная интенсивность орошения для большинства штабелей КВ составляет 1–6 мл/см².

Исходя из мировой практики КВ и основываясь на физико-химической гидродинамики механизма массопереноса, выявляется, что наиболее эффективное орошение штабелей, обеспечивающее минимальные потери, испарение и расход технологических растворов, достигается при их подаче через перфорированные оросительные трубопроводы.

Чтобы уменьшить потери от испарения следует избегать чрезмерно высоких рабочих давлений, потому что при слишком высоком значении давления, площадь покрытия и однородность подачи растворов будут снижаться.

При разбрызгивании часто применяют следующие средства: напорные шланговые распределители, вертикальные перфорированные трубы, вращательные разбрызгиватели, эмиттеры, газонные дождевальные установки, струйные пластиковые дождеватели и др. [1].

Напорные шланговые распределители (гибкие либо жесткие) с определенным количеством отверстий укладывают непосредственно по поверхностям штабеля КВ. Шаг между отверстиями и расстояние между параллельно установленными шлангами определяют в зависимости от решаемой задачи (определяемой параметрами штабеля КВ). Закачки рабочих растворов в шланговой системе осуществляется с помощью насосов (например, песковых типа П при водородном показателе рН от 6 до 8).

Перфорированные трубы вертикально вводят в штабель КВ с шагом 5–10 м между ними. Через них подают выщелачивающие растворы (или горячие растворы) и воздух под давлением внутри штабеля КВ. Вытекающие из отверстий вертикальных труб струи создают замкнутое движение растворов в пределах зон выщелачивания, что и способствует выравнивания их в разные зоны штабеля и тем самым облегчается интенсификация просачивания и выщелачивания. Система орошения вертикальными перфорированными трубами относится к закрытой системе укладки оросителей и имеет преимущество применения, особенно в засушливых районах, за счет возможности предотвращения потерь (за счет испарения) технологических растворов.

Вращательные разбрызгиватели состоят из движущей части и подводящих труб и служат главным образом улучшению плотности и равномерности распределения выщелачивающих растворов по поверхности штабеля (виглеры) и уменьшения их испарения (вобблеры). Отсутствие механических деталей увеличивает устойчивость против коррозии. Их устанавливают на вершинах стальных стоек (оптимальной высотой 45 см, но часто высота может достигать до 1,2 м).

Виглеры – специальные вращательные устройства (в виде трубки), вставляемые в отверстия, установленных в штабеле КВ оросительных труб. Виглеры периодически увеличивают плотность охвата поверхности штабеля выщелачивающими растворами за счет хаотического раскатывания системы труб.

Вобблеры с центробежным вращательным действием обеспечивают высокоэффективное орошение штабеля КВ даже при низком давлении. Их сопла (размером 2–20 мм) позволяют производит капли рабочих растворов средней и большой крупности. Таким образом, применение вобблеров характеризуется равномерным и стабильным орошением по всей площади штабеля КВ, низкими расходом технологических растворов и потерю их на

испарения, исключением образования гидродинамических потоков на поверхности штабеля КВ.

Когда при орошении применяется спринклерный метод, тогда растворы распределяются по орошаемой зоне, распыляясь по воздуху. Сопла могут быть повернуты, чтобы охватывать круглые или частичные участки штабеля КВ: они могут быть закреплены и оснащены дефлекторами, которые разбивают поток растворов и отклоняют его на орошаемую площадь. Высокая однородность подачи технологических растворов достигается путем перекрытия спрей от соседних спринклеров.

Кроме того, при чрезмерно высоких значениях давления механизмы спринклера могут работать неправильно. Кроме того, следует использовать большие сопла, а спринклеры должны работать при низких давлениях.

При использовании этого способа орошения климатический фактор обычно будет максимальным в начале дня, когда относительная влажность будет самой низкой, а температура воздуха и скорость ветра будут самыми высокими.

В ветреных условиях распределение очень маленьких капель технологических растворов, создаваемых чрезмерным давлением, будет легко искажаться ветром. Эти небольшие капельки могут переноситься в окружающие районы путем дрейфа ветра. В спокойных условиях эти маленькие капли будут приближаться к спринклеру, уменьшая эффективный диаметр площадки покрытия и, возможно, уменьшая однородность применения технологических растворов.

Таким образом, максимальное рабочее давление должно быть ограничено на основании рекомендаций производителя спринклера, чтобы можно было достичь приемлемой площади покрытия и равномерности применения растворов.

При этом, чтобы избежать разбрызгивания и стока растворов за пределами штабеля КВ, предусматривается установка разбрызгивателей с отступом от края, которого устанавливаются по углам, далее по периметру штабеля, а затем в остальной зоне штабеля КВ [1].

Большинство видов разбрызгивателей, несмотря на их способность обеспечить равномерную и полную проработку штабеля КВ растворами, имеют ряд экономико-экологических проблем: повышенную экологическую и санитарно-гигиеническую напряженность, значительный расход и потеря технологических растворов за счет их испарения.

Предприятия кучного выщелачивания нацелены больше всего на использовании других менее загрязненных способов разбрызгивания. Тем не менее струйные пластиковые дождеватели можно применять только при наличии положительного водного баланса (большой источник водных ресурсов).

Эмиттеры являются нагнетательными разбрызгивателями. Эмиттеры устанавливают отдельно друг от друга с заданным шагом между ними путем их погружения в руду на глубину 20–25 см (характерно для зимнего времени) или установки их на поверхности штабеля. За счет принципа турбулентных потоков изделия эмиттеров в некоторой степени самозащищаются в процессе орошения. В идеале капельницы эмиттерной системы должны иметь одинаковые давления, которые обычно находятся между 15–20 и 100–140 кПа.

При применении эмиттеров необходимо избегать его замыкания, перенасыщения раствора, а также колебания давления. Снижение производительности процесса кучного выщелачивания может быть связано с засорением системы капельного орошения из-за суспендированных и растворенных твердых веществ в растворе (отложения карбонатов кальция и шламов и т. д.).

Кроме возможности их погружения в штабели в засушливое время, эмиттеры позволяют минимизировать разрушение поверхности штабелей и испарения технологических растворов.

Рассредоточение с помощью взрыва может осуществляться путем бурения скважин в массиве и заложения в них наряду со взрывчатым веществом капсул с технологическим раствором, который посредством взрыва распределяется в рудном массиве [1].

Кроме этого, растворы могут поступать в штабелях сверху вниз под действием сил гравитации, или с низу вверх при создании гидравлического замка, из центра к периферии [2], с боковых поверхностей к центру.

По способу распределения рабочих растворов выделяют обычное распределение и с рассредоточением потока. Для рассредоточения потока в массиве штабеля формируют по меньшей мере один слой мелкозернистого материала высотой 50–120 мм. В результате обеспечивается распределение гидродинамического потока по всему сечению штабеля.

Сокращение сроков выщелачивания напрямую связано с применением различных способов интенсификации извлечения полезных компонентов в раствор. При кучном выщелачивании чаще всего применяются следующие способы интенсификации: предварительная активация (дополнительное дробление руды, агломерация), рыхление (особенно малочастотное взрывное, а также механическое и др.), подогрев рабочих растворов, насыщение кислородом (аэрирование). Другими применяемыми (в меньших масштабах) способами интенсификации являются отсасывание раствора вакуумным насосом, введение окислителей, наложение электромагнитных полей, возбуждение различных колебаний, радиоактивного излучения и т. д.

Интенсификация извлечения путем дополнительного дробления руды объясняется тем, что чем меньше размеров кусков [3; 4], тем больше их реакционная поверхность и вскрытость рудных тел растворами. То есть качество дробления влияет также на содержание полезных компонентов в руде и в продуктивных растворах, расход реагентов и интенсивность получения ценных металлов (табл. 2).

Таблица 2

**Расход реагентов и интенсивность извлечения
золота в зависимости от крупности кусков руды [6]**

Крупность кусков руды	Содержание золота в руде	Расход реагентов	Содержание золота в продуктивных растворах	Интенсивность извлечения золота
+ 100	0,95	1,8	0,8	15,7
-100	0,85	1,7	0,6	16
+50	2	1,8	0,8	57,5
+25	2,2	1,9	1,1	45,5
+10	4,4	1,9	3,95	41,1
+5	2	1,7	12,32	15
+3	2,3	1,35	5,9	23,9
+1	2,9	1,3	8,5	39,6

Было установлено, например, что время обработки штабеля при цианидном кучном выщелачивании увеличивается с уменьшением забойной крупности руд (от несколько месяцев для руд крупности 151 мм до месяца для руд крупности 81,1–19 мм [5]). Во время укладки руды обычно происходит естественная сегрегация более мелких частиц в центре штабелей и внизу, а более крупных частиц на ее боковых поверхностях.

Однако при дополнительном дроблении необходимо принимать во внимание тот факт, что при уменьшении размеров зерен, уменьшается и диаметр, и количество пор; образуется больше сопротивления трения. В результате снижается гидравлическая проводимость, что

является крайне неблагоприятным фактором. При их сегрегации мелкие частицы могут скапливаться, образуя локально малопроницаемые слои, препятствующие просачиванию выщелачивающих растворов. Для увеличения пористости предварительно обрабатывают частицы агломерацией. Агломерацией является процессом перегруппировки мелких частиц в более крупных (в целях уменьшения влаги и увеличения количество пор массива).

Необходимость процесса агломерации (окомкование) также обусловлена снижением уровня остаточной влажности руды, что определяется до укладки штабеля кучного выщелачивания при изучении водопроницаемости дробленной до заданной крупности материала [8]. Агломерацию можно осуществлять путем спекания или добавки разнообразных связующих элементов (таких как портландцемент с дополнением 90 г/т руды, цианистый раствор, известь для золота, серная кислота для меди, вода и т. д.).

Данный процесс применяется для предотвращения скопления глинистых и тонких пылевидных частиц, которые обычно закупоривают фильтрационные каналы и тем самым ухудшают проницаемость при выщелачивании массива горных пород. Эти частицы образуются в процессе дробления и измельчения и/или присутствуют в исходных металлосодержащих рудах.

Однако при улучшении фильтрационных свойств массива руд необходимо избегать формирования зон различной проницаемости (коэффициент фильтрации должен находиться в пределах допустимого значения для эффективного выщелачивания руды при кучном выщелачивании).

Необходимо отметить, что все эти мероприятия не обеспечивают полноценную эффективность интенсификации процесса кучного выщелачивания, предотвращение испарения технологических растворов, их разбавления, охлаждения и другие проблемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев А.Е., Каргинов К.Г., Козырев Е.Н. Физико-химическая геотехнология золота. Владикавказ: Ремарко, 2001. 344 с.
2. Воробьев А.Е., Чекушина Т.В. Классификация штабелей кучного выщелачивания металлов // Горный журнал. 1997. № 3. С. 36–42.
3. Воробьев А.Е., Каргинов К.Г., Одинцова Е.С., Чекушина Т.В. Типизация систем орошения выщелачиваемой руды и сбора продуктивных растворов // Горный информационно-аналитический бюллетень, №9, 2002. – С. 54–60.
4. Лузин Б.С. Экономические проблемы золотодобывающей промышленности. М. Ассоциация горной книги. 2002, 113 с.
5. Осипова М.А., Тейхреб Н.Я. Курс лекций по инженерной геологии для студентов направления «Строительство» и специальности «Строительство уникальных зданий и сооружений»: учебное пособие / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2013. – 84 с.
6. Фазлулина М.И. Кучное выщелачивание благородных металлов. – М.: Издательство Академии горных наук, 2001. – 647 с.
7. Шейпак А.А. Гидравлика и гидропневмопривод. Часть 1. Основы механики жидкости и газа / Учебное пособие. – М.: МГИУ, 2003. – 192 с.
8. Zhengwen Zeng and Reid Grigg. A Criterion for Non-Darcy Flow in Porous Media // <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11242-005-2720-3.pdf>.
9. Забельский В.К., Воробьев А.Е. Проектирование предприятий для разработки золоторудных месторождений геотехнологическими методами // Горный журнал №1–2, 1996. – С. 114–119.

Vorobev Aleksander Egorovich

Atyrausky university of oil and gas, Atyrau, Kazakhstan
E-mail: fogel_al@mail.ru

Tcharo Honore

University of Abomey-Calavi, Togo, Republic of Benin

The main factors determining the efficiency of irrigation of the HL stack

Abstract. The efficiency of irrigation of heaps is an important component, ensuring the intensification of the heap leaching process during the extraction of metals from low-grade ores. The study of the irrigation process in heap leaching should be aimed at improving the economic and technological efficiency of the applied irrigation methods.

In this regard, the study of the factors that lead to evaporation of leaching solutions during heap leaching permit to propose new and improved solutions concerning the devices and methods of leaching solutions. The effect of coarseness and agglomeration on irrigation efficiency is also considered.

Keywords: heap leaching; crushing; agglomeration; irrigation; intensification; technological solutions; reagents; evaporation; covering