

УДК 631.432.3

**А.Г. Михайлов**

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ИЗ МАССИВА ВОСХОДЯЩИМ КАПИЛЛЯРНЫМ ВЫШЕЛАЧИВАНИЕМ**

*Рассмотрен новый технологический подход извлечения полезных компонентов из массива выщелачиванием с площадным поверхностным сбором продукции растворов.*

*Ключевые слова:* выщелачивание, массив, восходящий поток, капилляры, реагент, производственный раствор.

---

**О**дним из реально эффективных технологических направлений в области освоения минеральных ресурсов является выщелачивание полезных компонентов непосредственно в массиве. Выщелачивание обеспечивает высокие технико-экономические показатели при разработке бедных руд, рентабельное освоение которых традиционными технологиями невозможно. Эффективность, к примеру кучного выщелачивания, подтверждены 40 летней практикой золотодобычи в США, Австралии, ЮАР и многих других стран с извлечением, превышающим 70%. Кучное и, в меньшей степени, подземное выщелачивание давно и широко используются в разных странах (США, Испании, Чили, Чехословакии, Канаде, Мексике, Перу, Замбии, Австралии, ЮАР и др.) для добычи урана, меди, золота и серебра. Известны запатентованные разработки по выщелачиванию цветных и благородных металлов. В России широкое применение кучного выщелачивания золота долгие годы сдерживалось представлениями о влиянии неблагоприятных климатических условий и необоснованными экологическими опасениями. В последние годы интерес промышленников к технологии выщелачива-

ния усилился. После экспериментальных работ, доказавших возможность процессов в условиях холодного климата начато внедрение кучного выщелачивания на горнодобывающих предприятиях Рудного Алтая, Сибири и Якутии.

Для технологической применимости выщелачивания в массиве после подбора реагентов достаточно обеспечить проницаемость пород массива для прохождения по нему растворов. Пористость массивов, без сомнения, не всегда отвечает предъявляемым технологическим требованиям. Однако после того, как проницаемость пород массива обеспечена, месторождение может быть освоено без транспортировки руды, без поверхностного складирования отходов. Появляется возможность полной автоматизации процессов, исключается опасный труд человека, резко сокращаются объемы (примерно в три раза) и сроки ввода промышленных мощностей, не происходит вредных выбросов газов и пыли.

Процесс выщелачивания — это перевод в раствор (обычно водный) одного или нескольких компонентов твердого вещества с помощью растворителя. Выщелачивание включает, по меньшей мере, два процесса:

химический — это перевод вещества в растворимое состояние, и физико-химический — это растворение преобразованного соединения полезного компонента в воде.

Собственно процесс выщелачивания в массиве состоит, в основном, из трёх стадий: подвода реагирующего вещества к твёрдой поверхности; химической реакции и отвода растворимых продуктов реакции в раствор. Чаще всего выщелачивание протекает в диффузионной области, скорость процесса, при этом, контролируют первая и третья стадии. Кроме того, возможен как только кинетический режим, при котором самой медленной стадией является химическая реакция и, следовательно, скорость выщелачивания определяется закономерностями химической кинетики, так и смешанный диффузионно-кинетический режим. Во всех вариантах выщелачивание ускоряется при увеличении площади контакта (уменьшении размера частиц материала), увеличении температуры (особенно при кинетическом режиме).

Чаще всего выщелачивание как гетерогенный процесс протекает в диффузионной области, хотя возможны смешанные диффузионно-кинетические или кинетические режимы.

Технологичность выщелачивания во многом зависит от скорости процесса. Влияющих факторов по величину скорости выщелачивания в массиве не менее 5 (удельная поверхность раздела жидкое твердое; разность концентрации растворителя и химических реагентов на поверхности; вязкость растворителя; коэффициент диффузии; температура).

Из реализованных технологических решений извлечения полезных компонентов из массива выщелачиванием выделяются два метода: подзем-

ное и кучное. Подземное выщелачивание, в основном, основано на использовании постоянного или периодически действующего фильтрационного потока реагента, заполняющего все трещины и открытые поры руд (пустоты в замагазинированной руде), движущегося за счёт разности напоров у раствороподающих (закачных) и раствороприёмных (откачных, дренажных) скважинах. Для месторождений, залегающих в особо сложных горнотехнических условиях, скважинные системы подземного выщелачивания являются пока единственными возможными системами рентабельной разработки.

Наиболее экономичным является подземное скважинное выщелачивание на месторождениях, проницаемость рудного массива которых достаточна и предварительное дробление не требуется.

Несколько более затратным, но и более распространенным является кучное выщелачивание на специально подготовленных основаниях. Более широкое распространение этот метод получил вследствие масштабного извлечения золота из руд с низким содержанием и из-за возможности рентабельного доизвлечения металла из хвостов обогащения. Кроме того, при кучном выщелачивании, поскольку процесс является более управляемым, может быть обеспечена более надежная защита от проникновения токсичных соединений в подземную гидросеть.

И при подземном и при кучном выщелачивании возникает проблема несоответствия скорости просачивания технологических растворов, скорости преобразования минерального вещества, и требуемой производительности по продуктивным растворам. Существующие технологии кучного или подземного выщелачивания

или заводнения предполагают достаточно высокую скорость дренажа, что резко снижает доступность для активных растворов поверхности пор малого диаметра. Резко негативное действие на эффективность процесса оказывает кольматация всех видов.

Последние годы за рубежом начало активно развиваться направление изучения высокодисперсных минеральных форм, прежде всего благородных металлов, во вторичных, осадочных и техногенных породах. Исследования ведутся преимущественно в области геоэкологии и минералогии, при этом высокодисперсные минеральные формы рассматриваются в основном как загрязнители, либо как прекурсоры традиционных минеральных форм, если речь идет о рудной геологии.

Как за рубежом, так и в России предпринимались исследования, направленные на развитие комбинированных методов управления подвижностью металлов в техногенных массивах, совмещающих улучшение экологической ситуации и одновременное получение товарной продукции из мобилизованных ценных компонентов породы. Развитие этих методов наталкивается на ограничения, накладываемые традиционными методами напорного дренажа обрабатываемого массива (скважинные схемы, схемы кучного выщелачивания с нисходящими потоками и т.п.) при малой проникаемости дисперсных слежавшихся масс, а также с малой мобильностью металлов в неагрессивных подземных водах. Особо жесткими эти ограничения становятся при необходимости извлечь из массива малые количества благородных металлов, которые активно сорбируются на развитой поверхности массива, а увеличение активности растворителя лимитировано экологическими сообра-

жениями. Эта задача на настоящий момент не решена.

Для расширения технологических возможностей при дренажной обработке рыхлых массивов может быть рассмотрен метод восходящего капиллярного выщелачивания. В отличие от традиционных напорных или самотечных схем, в этом методе снимаются или существенно ослабляются ограничения, накладываемые низкой проникаемостью массива и риском кольматации при использовании сильноминерализованных или неустойчивых растворов. Существенное отличие восходящего капиллярного процесса от традиционных схем заключается также в принципиальном изменении условий реакций на поверхности минерала. При пониженной скорости дренажа и повышенной минерализации смещается равновесие реакций, изменяется фазовый состав вторичного минерального комплекса. В результате этого глубина изменений дисперсных слежавшихся материалов в результате обработке резко возрастает.

Существенная часть этих проблем решается использованием восходящего потока растворов (при подаче выщелачивающих растворов в массив снизу) с подъемом по естественной капиллярной системе массива. Предварительные исследования характеристик восходящего капиллярного дренажа растворов показали возможность устойчивой динамики процесса выщелачивания. Явления кольматации в ходе экспериментальных исследований имели место и отмечались периодическими колебаниями расхода продуктивного раствора, но к нарушению процесса не приводили.

Рассматриваемая технологическая схема имеет природную основу из области сочленения подземной гидросети с гидросетью поверхностной.

Она имеет своим аналогом формирование поверхности речной сети. Так, при уровне подаваемого раствора выше или равного уровню поверхности, после прохождения по капиллярам массива раствор поднимется над поверхностью. Если поверхность массива спланирована таким образом, что обеспечивает сбор раствора самотеком по поверхности, то забор продуктивного раствора, как и подача реагента в массив может быть осуществлен безнапорно.

Подготовка процесса выщелачивания полезных компонентов требует изучения траектории движения растворов в массиве. Для применения технологии выщелачивания из первичных массивов необходимо проведения гидрогеологических изысканий на предмет возможного попадания реагентов подземную гидросеть, за пределы участка месторождения.

Принципиальную технологическую схему выщелачивания при доизвлечении полезных компонентов из материала хвостов обогащения может быть представлена следующим образом. Массив хвостов обогащения первоначально осушают. Произвести это необходимо для обеспечения доступа реагента ко всей доступной поверхности капилляров. Удаление свободной воды из хвостохранилища производят откачкой, к примеру из зумпфа, размещенного в центральной части массива или из нескольких, распределенных равномерно по массиву, если площадь не позволяет удалить воду с одной точки. Затем подают в массив выщелачивающий раствор до полного его насыщения. После полного осушения массив насыщают выщелачивающим раствором. Раствор обеспечивает преобразование минерального соединения интересующего вещества в водорастворимую форму с последующим переводом полезных компо-

нентов в жидкую фазу. Уровень подаваемого раствора соответствует уровню поверхности или может несколько превышать. После полного обводнения массива реагентом начинают осуществлять подачу выщелачивающего раствора соразмерно скорости удаления продукцииного раствора с поверхности массива. Поскольку подачу реагента осуществляют с поверхности в нижнюю зону массива либо через скважину, либо через зумпф, то желательно, чтобы пористость массива в нижней зоне была выше пористости всего остального массива. Для этого материал хвостов обогащения может быть подвержен переукладке, причем во вновь формирующемся хвостохранилище в нижний слой укладывают крупную фракцию. Это обеспечит практически беспрепятственное быстрое распространение реагента под основание всего массива хвостохранилища с одной точки подачи. Кроме того, переукладка материала обеспечит разрыхление массива перед выщелачиванием, что повысит коэффициент пористости массива и приблизить к максимуму уровень извлечения и скорость движения раствора по массиву (производительность процесса). При переукладке рельеф поверхности массива может быть сформирован таким образом, что продукцииный раствор, поднимаясь по капиллярам массива на поверхность будет самотеком стекать по созданным уклонам к месту сбора, к примеру в приемный зумпф, откуда будет перекачиваться на извлечение.

Приемный зумпф может быть оборудован геохимическим барьером для осаждения и накапливания полезного компонента. Освобождение циркулирующего раствора от полезных компонентов позволяет сразу использовать его для повторного цикла.

Технологическое решение беззапорного восходящего капиллярного выщелачивания может быть применено и для первичных коренных месторождений. Для этого массив подвергают взрывному рыхлению и удаляют верхний слой до уровня подземных вод. Затем проходят скважины и массив осушают. После осушки в массив, через те же скважины, подают выщелачивающий реагент до полного заполнения. Заполнение массива выщелачивающим раствором сразу после удаления подземных вод снизу позволит заполнить, практически, всю рудную зону выщелачивающим раствором, не допуская, при этом, попадания внешних подземных вод в область

зоны оруденения. После заполнения массива подачу реагента в массив через скважину осуществляют сопротивительно с объемом сбора продукции раствора с поверхности.

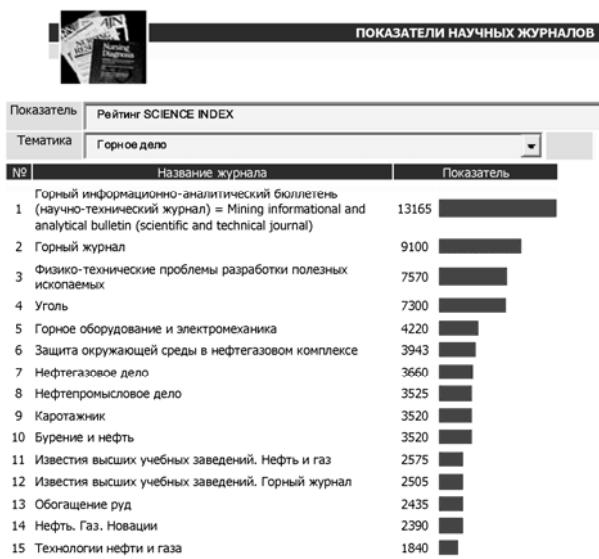
Таким образом, предлагаемое технологическое решение по восходящему капиллярному процессу выщелачивания существенно повышает глубину преобразований за счет пониженной скорости дренажа и повышенной минерализации. Однако, несмотря на снижение скорости прохождения растворов по капиллярам в массиве, совокупная производительность процесса может быть существенно повышена за счет применения площадного сбора продукции растворов. ГИАБ

## КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Михайлов Александр Геннадьевич – доктор технических наук, заведующий лабораторией, [maq@kcs.krasn.ru](mailto:maq@kcs.krasn.ru), Институт химии и химической технологии СО РАН.



## РЕЙТИНГ ГОРНЫХ ЖУРНАЛОВ



В рейтинге SCIENCE INDEX базы данных РИНЦ «Горный информационно-аналитический бюллетень» (ГИАБ) занял первое место в разделе «Горное дело» с интегральным показателем 13165 (на 19.07.2013).

За основу расчетов показателя берется количество цитирований, которые статьи из журнала за предыдущие 5 лет получили в течение расчетного года. Учитываются только цитирования, сделанные в научных статьях, научных обзорах и кратких сообщениях. Показатель рассчитывается для российских научных журналов или для российских журналов, выходящих на английском языке и не имеющих оригинальной русскоязычной версии.

[http://elibrary.ru/titles\\_compare.asp](http://elibrary.ru/titles_compare.asp)