

*Шаршебаев А.А., Бейшеналиева М.И.*МИНЕРАЛДЫК КЕНДЕРДИ ӨНҮКТҮРҮҮНҮН ГЕОТЕХНОЛОГИЯЛЫК
МЕТОДУН КОЛДОНУУНУН НАТЫЙЖАЛУУЛУГУНУН
ТЕХНИКАЛЫК-ЭКОНОМИКАЛЫК ТАЛДООСУ*Шаршебаев А.А., Бейшеналиева М.И.*ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РАЗРАБОТКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ*A.A. Sharshabaev, M.I. Beishenalieva*TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF THE EFFICIENCY
OF THE APPLICATION OF GEOTECHNOLOGICAL METHODS
FOR THE DEVELOPMENT OF MINERAL DEPOSITS

УДК: 330.338.622.234/553.5

Кендердин тынымсыз түгөнүшү, алардын пайда болушунун тоо-кен жана геологиялык шарттарынын начарлашы, өнүгүү тереңдигинин жогорулашы менен, казып алынган минералдын наркы сызыктуу эмес геометриялык прогрессия менен жогорулайт, ал эми байытууга жана кайра иштетүүгө кеткен чыгымдар жогорулайт. Мындай шартта, акыркы продукт өтө кымбат болуп, рынокто начар атаандаштыкка ээ болот. Ушуга байланыштуу, дүйнөлүк практикада тоо-кен өндүрүшүнүн жаңы геотехнологиялык ыкмаларын иштеп чыгуу үчүн анын мүмкүнчүлүктөрүн колдонуп, тоо-кен өнөр жайынын классикалык технологиясынан геотехнологияга өтүү тенденциясы байкалууда. Белгилүү бир геотехнологиялык метод менен иштелип чыккан ар бир конкреттүү тармак үчүн өндүрүштүн техникалык-экономикалык көрсөткүчтөрүнө ар кандай деңгээлде таасир этүүчү факторлордун тизмеси келтирилген. Бул факторлор минералдардын, рудалардын, ээси тектердин касиеттери менен байланышкан, ошондой эле жалпысынан пайдалуу кен чыккан жерлерди мүнөздөйт.

Негизги сөздөр: геотехнологиялар, кендер, пайдалуу кендер, механикалык процесстер, техникалык процесстер, химиялык процесстер, экономикалык анализ, геотехнологиялык методдор, массив, тоо-кен породалары.

При постоянном обеднении месторождений, ухудшении горно-геологических условий их залегания, повышении глубин разработки себестоимость добытого полезного ископаемого нелинейно по экспоненте возрастает, увеличиваются затраты на обогащение и переделы. В данной ситуации конечный продукт становится весьма дорогим и слабо конкурентным на рынке. В связи с этим в мировой практике явно прослеживается тенденция перехода от классической горной технологии к геотехнологии, с использованием ее возможностей для разработки новых геотехнологических методов добычи полезных ископаемых. Для каждого конкретного месторождения, обрабатываемого определенным геотехнологическим методом, существует свой перечень факторов, в различной степени влияющих на технико-экономические показатели добычи. Эти факторы связаны со свойствами минералов, руды, вмещающих пород, а также характеризуют залежи полезных ископаемых в целом.

Ключевые слова: геотехнологии, месторождения, полезные ископаемые, механические процессы, технические процессы, химические процессы, экономический анализ, геотехнологические методы, массив, горные породы.

With the constant depletion of deposits, deterioration of the mining and geological conditions of their occurrence, an increase in the depth of development, the cost of the extracted mineral increases nonlinearly exponentially, and the costs of enrichment and processing increase. In this situation, the final product becomes very expensive and poorly competitive in the market. In this regard, in world practice, there is a clear tendency of transition from classical mining technology to geotechnology, using its capabilities for the development of new geotechnological methods of mining. For each specific field, developed by a specific geotechnological method, there is a list of factors that, to varying degrees, affect the technical and economic indicators of production. These factors are associated with the properties of minerals, ore, host rocks, and also characterize mineral deposits in general.

Key words: geotechnologies, deposits, minerals, mechanical processes, technical processes, chemical processes, economic analysis, geotechnological methods, massif, rocks.

Классические горные технологии добычи полезных ископаемых вот уже на протяжении сотен лет не претерпели каких-либо принципиальных изменений. Работы во всем мире ведутся по традиционной схеме: добыча полезного ископаемого, подготовка его к обогащению, обогащение и переделы до конечного продукта, например, металла. При постоянном объединении месторождений, ухудшении горно-геологических условий их залегания, повышении глубин разработки себестоимость добытого полезного ископаемого нелинейно по экспоненте возрастает, увеличиваются затраты на обогащение и переделы. В данной ситуации конечный продукт становится весьма дорогим и слабо конкурентным на рынке. В связи с этим в мировой практике явно прослеживается тенденция перехода от классической горной технологии к геотехнологии, с использованием ее возможностей для разработки

новых геотехнологических методов добычи полезных ископаемых [1, с. 6].

На сегодняшний день в основе большинства геотехнологических методов лежат физические или химические процессы. Первые можно подразделить на механические и термические [2, с. 259].

1. Механические процессы добычи полезных ископаемых. Они направлены на разрушение слабоцементированных пород струей воды, вибрацией и пр. и на доставку полученного продукта на поверхность. Основные затраты энергии при механических способах добычи связаны с разрывом механических или межкристаллических связей отдельных микроагрегатов в массиве. При этом не происходит изменения агрегатного состояния полезного компонента или вмещающих пород. Здесь главные для исследования – процессы разрушения и разупрочнения пород.

2. Термические процессы добычи основаны на свойстве многих веществ изменять при определенной температуре свое агрегатное состояние и переходить из неподвижного твердого состояния в подвижное жидкое или газообразное (плавление, сублимация, испарение). Затраты энергии при термических процессах, связаны с нагревом массива до температуры фазового перехода и изменением межмолекулярных связей в полезном компоненте. Нагрев массива до необходимой температуры перехода может быть выполнен теплоносителем, воздействием высокочастотного электромагнитного поля, приводящим к нагреву пласта вследствие объемных диэлектрических потерь электрического сопротивления пласта, электрическим током большой плотности, внутрипластовым очагом горения и др.

При использовании электротехнологии для термирования полезного ископаемого достигается ряд преимуществ, основные из которых – равномерный прогрев значительного массива горных пород путем сквозного проникновения электромагнитного поля через обрабатываемый объем; разогрев практически с любой заданной скоростью; осуществление нагрева массива с низкой фильтрационной способностью.

Важнейшая задача исследований термических методов добычи заключается в изучении динамики температурного поля, расчет которого осложняется наличием активного массопереноса в пласте. Перевод полезных ископаемых в подвижные формы возникает в результате искусственно создаваемых в пласте химических процессов. Это гетерогенные (происходящие на поверхности раздела фаз) процессы, которые носят химический характер, если межфазные переходы сопровождаются образованием новых химических соединений.

1. Геотехнологические процессы, основанные на химических реакциях, которые не требуют для

своего осуществления искусственного повышения температуры и тепловые эффекты которых не оказывают решающего влияния на кинетику, можно называть «истинно» химическими процессами. К ним относятся подземное растворение солей, выщелачивание металлов и их окислов и т.п. В основе процессов коллективного и селективного извлечения, на которых основаны соответственно растворение и выщелачивание, лежит понятие растворимости. Однако в первом случае оно подразумевает концентрацию насыщения раствора, тогда как во втором – интенсивность взаимодействия, т. е. реакционную способность или устойчивость минерала по отношению к растворителю.

По своему химизму рассматриваемые процессы подземного извлечения полезных компонентов из руд идентичны соответствующим процессам наземной химической технологии. В основе их могут лежать реакции обменного характера (растворение окислов и сульфидов металлов в кислотах); образование растворимых комплексных соединений (аммиачное растворение меди и т.д.); окислительно-восстановительные реакции (кислотное выщелачивание металлов). Эффективное осуществление этих процессов в пласте определяется рядом условий: избирательностью извлечения, достаточной проницаемостью коллектора, отсутствием коагуляции пор и капилляров и образования пассивирующих пленок на поверхности реагирования, обеспечением рациональных систем ввода реагента в пласт и извлечения продуктивного раствора.

Химические процессы, происходящие при непосредственном участии микроорганизмов, относятся к биохимическим. Воздействие микроорганизмов может проявляться в целенаправленном извлечении компонентов рудного тела, необходимых для обеспечения биогенеза (фосфор, калий и др.), а также в побочном взаимодействии продуктов метаболизма бактерий с компонентами рудного тела (выщелачивание меди, железа и пр.). Наряду с извлечением полезного компонента биохимические процессы могут быть направлены на обогащение, а также на разупрочнение рудного пласта путем микробиологического выщелачивания кальция, кремния и других компонентов рудного скелета. Так, обеспечив селективность биохимического выщелачивания по отношению к кальцию фосфат содержащих руд, можно интенсифицировать разрыв их при гидромеханическом способе добычи и извлечь обогащенную фосфором руду.

4. В отличие от «истинно» химических, процессы, основанные на химических превращениях и инициируемые термическим воздействием на залежь, можно классифицировать как термохимические. Эти процессы могут быть основаны на окислительных

реакциях (сжигание серы), окислительно-восстановительных (газификация углей), термическом разложении (подземная перегонка сланцев).

Осуществление ряда термохимических процессов возможно лишь при постоянном подводе тепла в реакционную зону. Например, подземная перегонка сланцев, разложение гипсов, карбонатов. Для реализации других процессов, к которым относится высокотемпературное внутрипластовое горение (серы, угля), требуется лишь начальный тепловой импульс для достижения достаточной скорости реакций. Выделяемое в результате реакций тепло не только компенсирует тепловые потери, но и обеспечивает стабильный автотермичный процесс горения после ликвидации источника теплового возмущения. Таким образом, термохимические процессы подразделяются на авто- и неавтотермичные. Автотермичность процессов может проявляться лишь при определенных условиях, характеризующихся теплофизическими свойствами коллектора и полезного ископаемого, физико-геологическими факторами (мощность залежи, содержание и распределение полезного компонента, конфигурация и размер реакционной зоны), технологическими параметрами (состав, интенсивность и способ подачи дутья) и др.

Характерные особенности термохимических методов добычи полезных ископаемых могут быть проиллюстрированы на примере метода подземного сжигания серы (ПСС). Основа метода ПСС – автотермичный процесс высокотемпературного окисления серы в газопроницаемом серном пласте при подаче воздуха и отборе дымовых газов через скважины. Основной продукт метода ПСС – сернистый ангидрид, являющийся сырьем для последующей наземной переработки.

Неадекватность подземного сжигания серы и известной технологии наземного обжига серных руд обуславливается прежде всего физико-геологическими условиями пласта. Большие размеры пласта не позволяют поддерживать оптимальные параметры во всем его объеме, поэтому возможна лишь организация локального очага горения на забое одной из скважин. По мере выгорания серной руды очаг горения будет продвигаться в глубь массива до тех пор, пока суммарное тепловыделение реакции горения серы не станет меньше тепловых потерь в покрывающие и подстилающие породы. О продвижении очага горения можно судить по характерному, имеющему вид «тепловой волны» распределению температуры в пласте. Все фазовые и физико-химические превращения серы происходят в определенных температурных интервалах, что при наличии значительной неоднородности температурного поля приводит к появ-

лению пространственно разделенных физико-химических зон. В первом приближении можно выделить зоны: предварительного прогрева (до 120°C), расплавленной серы (от 120 до 450° С), горения (более 450°C) и выгоревшую, где содержания серы уже недостаточно для поддержания горения.

В зоне горения протекает интенсивная цепная реакция окисления паров серы, скорость которой экспоненциально возрастает с температурой, но ограничена скоростью испарения серы. Сложность процесса испарения серы в пластовых условиях обуславливается структурой пласта, представленного в большинстве случаев малопроницаемыми блоками с межблоковыми трещинами или карстовыми каналами, где происходит основная фильтрация воздуха и, следовательно, основная реакция окисления серных паров. Таким образом, скорость суммарного процесса определяется как скоростью диффузии серных паров из блоков в макропоры, так и кинетикой окисления серных паров в потоке. Большие размеры серного пласта позволяют достичь весьма высоких температур в зоне горения. При этом интенсифицируются не только процессы диффузии и окисления серных паров, но и побочные реакции, происходящие во вмещающих породах [2, с. 262-263].

Осуществление химических процессов в подземных коллекторах имеет ряд специфических особенностей. Это прежде всего связано с обработкой под землей больших масс породы, что требует применения значительных объемов реагентов и сопряжено с извлечением балластных компонентов в продукционной смеси. Это относится к химическим методам инконгруэнтного извлечения, когда невозможно достичь полной селективности. В отличие от наземных реакторов, характеризующихся ограниченным объемом и возможностью обеспечения в них оптимальных условий реакций, подземные коллекторы практически неограниченны и, как правило, неоднородны по фильтрационным свойствам, составу руды и характеру включений полезного компонента. Это предопределяет неравномерность распределения концентрационных, тепловых полей и обуславливает сложность регулирования химических процессов.

Химические реакции составляют единую сложную систему с массопереносом. Явления масс передачи с химической реакцией наблюдаются всякий раз, когда две, не находящиеся в химическом равновесии фазы приведены в контакт. Такое явление включает процессы диффузии и истинно химических реакций. Скорость химических процессов определяется поверхностью контакта фаз и условиями циркуляции рабочего агента относительно поверхности реагирования. В наземных реакторах обеспечение оптимальных

условий достигается измельчением руды, также подбором скоростей перемешивания либо фильтрации в перколяционных процессах. При геотехнологических методах добычи протекание химических реакций осложнено анизотропностью гидродинамических условий фильтрации рабочего агента и продукционных смесей. Это относится к методам с применением в качестве рабочих агентов флюидов (растворов кислот, оснований, солей) и газообразных агентов в виде дутья.

В связи с этим важную, если не решающую роль в кинетике химических процессов бес шахтных методов добычи играет проницаемость рудного пласта, характеризующая эффективность массопередачи. В процессе отработки месторождения геотехнологическими методами, в частности подземным выщелачиванием, когда в пласт подаются растворители с различной плотностью и вязкостью, фильтрационные свойства его могут существенно изменяться. С одной стороны, это – результат увеличения проницаемости пласта за счет растворения включений полезного компонента; с другой – часто наблюдающаяся кольматация порового пространства осадками, выпадающими в результате химического взаимодействия растворителей с компонентами вмещающих пород, а также кристаллизующимися из продукционных растворов при изменении термодинамических параметров и реакции среды (рН). Осадкообразование происходит, как правило, вследствие невозможности осуществления строгого контроля указанных параметров.

Иллюстрацией к сказанному могут служить экспериментальные исследования процесса подземного выщелачивания фосфатных руд. Отмеченное выше влияние фактора кислотности среды проявляется здесь в переотложении фосфата кальция из продукционного раствора, а применение растворов серной кислоты приводит к образованию гипса в виде пассивирующих пленок или кольматирующих осадков, что уменьшает реакционную способность растворов и снижает фильтрационную способность. Таким образом, фильтрационная способность пласта нестационарна и зависит как от начальной проницаемости его, так и от характера протекающих основных и сопутствующих им химических процессов (извлечение полезного компонента, образование газов, кольматирующих веществ и т.д.). Фильтрационная способность не только определяет интегральную величину массопередачи, но и характеризует доступную поверхность контакта фаз, которая также зависит от структуры руды, характера распределения и размера включений полезного компонента и т. п.

Из анализа влияния различных факторов на характер и скорость химических процессов в геотехнологии вытекают основные требования к реализации

их в подземных коллекторах: достижение высокой степени извлечения полезного компонента с обеспечением приемлемой кинетики реакций, хорошей фильтруемости продукционного раствора, стабильности в процессе фильтрации образовавшихся химических соединений и с получением продукционных смесей, кондиционных в отношении их последующей наземной переработки.

Промышленный опыт применения геотехнологических методов разработки месторождений полезных ископаемых [3,4] показал, что эти методы обладают рядом неоспоримых преимуществ. Основные из них следующие: промышленное использование руд с низким содержанием полезных ископаемых; уменьшение вредного влияния горных работ на окружающую среду; возможность создания поточного, полностью автоматизированного процесса добычи; создание комфортных условий труда; уменьшение капитальных вложений, а следовательно, сокращение сроков освоения месторождений; незначительное влияние глубины залегания на технико-экономические показатели. Один из важных аспектов геотехнологии – подготовка минерально-сырьевой базы для новой технологии добычи полезных ископаемых.

Решение этой задачи включает: выявление и оценку влияния физико-геологических факторов на протекание геотехнологических процессов; установление требований к физико-геологическим условиям месторождения, определяющих возможность применения геотехнологических методов; разработку условий для подсчета запасов полезных ископаемых; ориентирование поисковых работ на открытие месторождений, пригодных для отработки высокоэффективными геотехнологическими методами; переоценку известных месторождений с учетом достижений геотехнологии и тенденции ее развития; разработку методики разведки месторождения с определением тех характеристик полезных ископаемых, руд и массива в целом, которые необходимы для проектирования и управления технологией добычи при геотехнологических методах; создание методики геологического обслуживания предприятия при эксплуатации месторождений с целью управления добычей и решения вопросов охраны недр.

Для каждого конкретного месторождения, обрабатываемого определенным геотехнологическим методом, существует свой перечень факторов, в различной степени влияющих на технико-экономические показатели добычи. Эти факторы связаны со свойствами минералов, руды, вмещающих пород, а также характеризуют залежи полезных ископаемых в целом.

На основе анализа роли физико-геологических факторов устанавливаются условия применения метода, а следовательно, и требования к конкретным

месторождениям, обрабатываемым геотехнологическими методами, которые в общем виде могут быть сформулированы следующим образом: свойства полезного ископаемого или руды должны позволять перевести их в подвижное состояние путем воздействия рабочими агентами; фильтрационные свойства должны обеспечивать возможность подачи в недра необходимого количества рабочих агентов и отвода продуктивных смесей из залежи после экономически оправданных подготовительных работ; свойства породообразующих минералов и вмещающих пород должны исключать значительные потери рабочих агентов и полезных продуктов; состав и свойства продукционных смесей должны отвечать экономически целесообразной их переработке.

По степени пригодности месторождений для обработки геотехнологическими методами целесообразно различать: пригодные в естественном залегании; требующие подготовительных работ; непригодные. Примером месторождений первой группы могут служить месторождения солей, самородной серы, рудных минералов в высокопроницаемых карбонатных породах. Однако месторождений, которые могут обрабатываться через скважины без искусственного изменения свойств в естественном залегании, не так много. И поэтому необходимо использовать различные методы подготовки месторождений к разработке геотехнологическими методами.

Чаще всего препятствием служит низкая проницаемость рудного массива, затрудняющая доступ рабочих агентов к полезным минералам. В настоящее время существует широкий арсенал средств для повышения проницаемости: разрушение рудных массивов взрывами; гидроразрыв, взрыв жидких ВВ в трещине

гидроразрыва, нагрев пород, обработка руд химическими реагентами (например, кислотная обработка) и поверхностно-активными веществами [2, с. 265-266].

Часто требуется изменить свойства вмещающих пород с целью повышения избирательности воздействия рабочих агентов. В задачи этого вида подготовительных работ входит гидроизоляция рудных залежей для предотвращения потерь рабочих агентов, искусственное укрепление пород кровли, снижение проницаемости безрудных включений и т.д. Техника и технология этих воздействий широко известна в практике строительства. Иногда подготовительные работы связаны с предварительным изменением основных технологических свойств полезных ископаемых или руд. Так, большинство минералов меди и других металлов с трудом растворяется в кислотах, но после окисления переходит в легкорастворимые формы.

Литература:

1. Рогов Е.И., Рогов А.Е. Перспективы развития теории и практического применения горных технологий // Горный журнал Казахстана. - 2017. - №2. - С. 6-9.
2. Аренс В.Ж. Геотехнология и геотехнологические методы добычи полезных ископаемых // В книге «Горная наука и рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов» / Ответственный редактор А.В. Сидоренко. - М.: Изд-во «Наука», 1978. - 279с. (258-273 с.).
3. Рогов Е.И., Рогов С. Е., Рогов А.Е. Начала основ теории технологии добычи полезных ископаемых. - Алматы: Гылым, 2001. - 224 с.
4. Аренс В.Ж. Физико-химическая геотехнология. - М.: Изд. МГУ, 2001. - 655 с.
5. Алибаев А.П. «О перспективах геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений». / Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2008. №. 7-8. С. 30-33.