



И.В. Британ

канд. геол.-мин. наук
 ЗАО Рудная Компания
 заместитель генерального директора по геотехнологии
 ibritan@yandex.ru

Объекты минерального сырья для скважинной гидродобычи с физико-геологических и геотехнологических позиций

Разработка применения скважинной гидродобычи для скальных и полускальных ПИ позволит включить в сферу ее возможностей большинство месторождений черных, цветных, редких и благородных металлов, химического сырья и других полезных ископаемых

Development of application well hydraulic mining by boreholes for rock and half-rock ore mineral would be included in the scope of its possibilities, the majority of deposits of ferrous, non-ferrous, rare and noble metals, chemical raw materials and other minerals

Ключевые слова: скважинная гидродобыча, физико-геологические свойства полезных ископаемых, геотехнологический тип, сцементированные полезные ископаемые

Keywords: hydraulic mining by boreholes, physico-geological properties of minerals, geotechnological type, coherent minerals

В процессе оценки и разведки месторождений ТПИ при выборе способов их разработки все чаще рассматриваются возможности использования скважинных геотехнологий. Некоторые из них (подземное выщелачивание урана, подземное растворение солей и др.) хорошо освоены. Применение скважинной гидродобычи (СГД) пока ограничивается рыхлыми ПИ. Но уже накопились научные знания и положительные результаты опытных работ, которые свидетельствуют о ее значительном промышленном потенциале.

СГД в системе подземных геотехнологий

Скважинную гидродобычу принято относить к физико-химическим геотехнологиям [1]. В тоже время ей свойственны все основные признаки подземных разработок. Вскрытие залежей осуществляется вертикальными, наклонными или горизонтальными горными выработками – скважинами. Разрушение ПИ на месте залегания, его дезинтеграция производятся с помощью известных способов гидромеханизации, взрывных работ, механизмов; доставка к месту выдачи на поверхность – самотечная или принудительная; выдача на по-

верхность – с использованием гидроэлеватора или эрлифта.

Компоненты, с целью извлечения которых производится добыча, обычно не определяют технологических решений, которые зависят от физического состояния объектов эксплуатации. Это позволяет, как и в условиях традиционных способов разработки, извлекать из недр ПИ, в том числе комплексные, без изменения состава и во всем разнообразии естественных минеральных форм. Добытое сырье может использоваться непосредственно или перерабатываться по действующим в промышленности технологическим схемам.

В этом существенное отличие СГД от других скважинных геотехнологий, которые ограничены в своем применении растворимостью, химической, биохимической, термической или иной неустойчивостью минералов, содержащих полезные компоненты. Различаются они и по фазовому состоянию извлекаемых продуктов. При СГД – это гетерогенная двух- или трехфазная система (гидросмесь, пневмогидросмесь), которая устойчива только в движении. Для других геотехнологий – гомогенная монофазная система (раствор, расплав, газ), устойчивая как в покое, так и в движении.

Важные отличия СГД от традиционных подземных технологий заключаются в необходимости выполнять все процессы в ограниченном пространстве очистной выработки и, как правило, совмещенные во времени, а также в необходимости дистанционного управления из-за отсутствия людей в рабочей зоне. Это требует особых технических и технологических решений.

Любая геотехнология зависима от многих природных факторов, которые, в конечном счете, обуславливают экономическую целесообразность ее применения. Для СГД главные из них те, которые определяют эффективность перевода ПИ в подвижное состояние и возможность управления толщей налегающих пород.

Критерии выбора систем разработки, с которыми тесно связан важнейший технико-экономический показатель – продуктивность добычных скважин, рассмотрены во многих работах [1, 2 и др.]. Другой важнейший показатель – производительность процесса добычи имеет прямую зависимость от геотехнологических свойств и, следовательно, от физико-геологических параметров ПИ. В общем виде они также рассмотрены в упомянутых работах. Однако вопросы, связанные с границами применения и содержанием тех или иных технологических процессов СГД, обу-

словленным состоянием ПИ в недрах, пока освещены в научно-технической литературе недостаточно. Некоторые конкретные сведения можно найти в публикациях о результатах СГД богатых железных руд КМА [3, 4], но они не раскрывают общей проблемы.

Зависимость процессов СГД от физико-геологических свойств ПИ

СГД любого ПИ осуществляется по схеме: *разрушение (сдвигание) массива – дезинтеграция – доставка горной массы к скважине – приготовление пульпы – подъем пульпы на поверхность*. С точки зрения современного состояния техники ее можно реализовать для ПИ с различными физико-геологическими свойствами, но влияние этих свойств на процессы добычи существенно различается.

Процесс подъема пульпы зависит, прежде всего, от гидравлической крупности твердого материала, его плотности, плотности пульпы и от конструктивных особенностей подъемных устройств. Из природных свойств ПИ здесь участвует только его плотность. Практика показала возможность извлечения в пульпе любых, в том числе тяжелых минералов: ильменита, гематита, касситерита, самородного золота [5]. Не обозначились технические ограничения и по глубине подъема пульпы [6].

Процесс пульпоприготовления в случае поступления к скважине достаточно измельченной горной массы любого минерального состава хорошо освоен. Гидродобычные снаряды снабжаются специальными устройствами для ее разжижения, перемешивания и формирования «облака» пульпы в зоне пульпоприемных отверстий.

Процесс доставки разрушенной горной массы к скважине в условиях затопленной и незатопленной камер исследован как с теоретических позиций, так и на практике. Он зависит от мощности рабочего горизонта, условий залегания, гидравлической крупности транспортируемого материала и его плотности. Это может быть смыв гидромониторной струей, самотечная доставка, сползание горной массы под собственным весом [1, 2, 7].

Даже краткий анализ этих процессов показывает, что непосредственно они зависят только от одного физико-геологического параметра – плотности ПИ. Следовательно, они могут быть реализованы для любой горной массы, в том числе из высокопрочных пород, если степень ее дезинтеграции достаточна для перемещения к скважине и прохождения через пульпопроводную систему.

Процессы разрушения (сдвигания) массивов и дезинтеграции находятся в прямой за-

висимости от физико-геологических характеристик (минералого-петрографических, прочностных, водных и др.), которые определяют физико-механические параметры ПИ. В то же время, если сдвигание возможно гидромеханическими и иными способами, например, взрывами, то измельчение кускового материала в камере, из-за ограниченных возможностей для размещения специальных технических средств, может выполняться только за счет энергии гидромониторов. Иных способов, готовых к применению, пока не разработано.

Таким образом, с точки зрения практической технологии важнейшими являются те физико-геологические характеристики, от которых зависит энергоемкость процессов дезинтеграции.

Связь геотехнологических характеристик и физико-геологических свойств ПИ

Различия в способах СГД и в содержании основных проблем, связанных с созданием промышленных технологий, определяются в целом прочностью объектов разработки. В связи с этим обычно выделяют три типа ПИ по физическому состоянию: *рыхлые; слабосцементированные*, для разрушения которых достаточно гидромеханических воздействий; *сцементированные*, в том числе скальные и полускальные, которые требуют предварительного ослабления прочности путем механических, химических, биологических или иных воздействий.

Рыхлые

В классическом понимании – это раздельно-зернистые горные породы, в которых связи между минеральными зёрнами слабые молекулярные (вандерваальсовы) или практически отсутствуют. К ним относятся россыпные месторождения металлов, строительных, стекловых и других песков, а также иных природных механических смесей частиц минералов или их сростков.

Рыхлые ПИ характеризуются в очистном пространстве естественной физической неустойчивостью. Их сдвигание, дезинтеграция и доставка к скважине требуют минимума энергетических затрат. Обычно для этого достаточно сил гравитации и смыва низконапорными гидромониторными струями. Накоплен значительный опыт добычи таких ПИ, который обобщен в работах В.Ж. Аренса, Н.И. Бабичева, А.С. Хрулева, Г.Х. Хчеяна и др. [1, 2].

Внутри этой группы следует различать две физико-геологических разновидности. Первая включает мелко- и тонкозернистые,

иногда в различной степени глинистые, рыхлые породы, которые при разжижении приобретают свойства пльвунов. Вторая – это сыпучие крупнозернистые пески, иногда с примесью мелкой гальки, и щебенистые породы. С геотехнологических позиций они заметно различаются по энергии сдвигания, транспортировки к скважине и выдачи пульпы на поверхность. Для рыхлых ПИ предлагается выделять два геотехнологических типа: *пльвучие* и *сыпучие* ПИ.

Обычно считают, что месторождения таких ПИ наиболее благоприятны для СГД. Но нередко их освоение осложняется и даже становится невозможным из-за горно-геологических условий, когда они располагаются внутри осадочных неустойчивых пород и на относительно небольших глубинах. Тогда возникают проблемы, связанные с возможным нарушением поверхности; с трудностями поддержания выемочного пространства и, как следствие, с обеспечением достаточной продуктивности скважин; с повышенной опасностью засорения.

Слабосцементированные

Разрушение их естественной структуры и дезинтеграцию можно реализовать за счет энергии фильтрационных потоков и гидромониторных струй, а также в процессе самообрушения подсеченных массивов.

Возможность применения фильтрационных потоков основывается на известных процессах механической суффозии. Главным условием для ее реализации является неоднородность гранулометрического состава горной породы и пористость, образованная крупными частицами, через которую могут двигаться мелкие частицы. В результате суффозии происходит ослабление массива, а при достижении критических значений он теряет несущие способности и разрушается. Результативность механического выноса частиц и скорость разрушения горной породы зависят от скорости и массы фильтрующейся воды, т.е. от водно-физических свойств (коэффициента проницаемости и коэффициента фильтрации).

Гранулометрический состав ПИ и создаваемая скорость потока позволяют оценить возможность развития процесса суффозии, используя данные исследований Дж. Джастина [8] по критическим размывающим скоростям (*табл. 1*). Благоприятной для развития суффозии считается степень неоднородности гранулометрического состава больше 20 и гидравлический градиент больше 1. Но достоверные данные для конкретных объектов можно получить только опытным путем.

Критические размывающие скорости

Таблица 1

Размер частиц, мм	Размывающая скорость, м/мин
5	13,23
3	10,37
1	5,91
0,8	5,3
0,5	4,18
0,3	3,08
0,1	1,83
0,08	1,67
0,05	1,31
0,03	1,04
0,01	0,59

Возможности фильтрационной технологии исследовались при опытных работах на Шемраевском месторождении богатых железных руд (КМА). Здесь в условиях затопленных камер добыты десятки тысяч тонн руды без применения для отбойки боковых гидромониторов. Использовался только забойный гидромонитор для пульпоприготовления и доизмельчения горной массы, поступающей к скважине. Формирование подсечных полосей объемом до 400 м³ и сдвигение руд происходило в результате внутренней механической суффозии, возникающей при снятии напора за счет превышения объема откачиваемой воды с пульпой на 80–110 м³ в час против объема подаваемой рабочей напорной воды. Признаком процесса размыва был выход гелеобразной темно-бурой маслянистой на ощупь пульпы небольшой плотности. По гранулометрическому составу – это шламы, в которых преобладали частицы размером менее 0,05 мм; 48,4% имели размер менее 0,01 мм, а 24% – менее 0,005 мм.

Сотрудники институтов ВНИИВОДГЕО и ВИОГЕМ В.А. Котов, Н.П. Куранов, А.Ж. Муфтахов и др. на основе фактических материалов опытов и детального изучения водно-физических свойств выполнили исследования роли механической суффозии в процессах сдвигения руд. Определено, что для основной массы руд, характеризующейся коэффициентом пористости 0,35–0,40 и выше, вынос фракции – 0,005 мм начинался при градиентах напора 0,6–0,7; он принят как градиент суффозии. При достижении им величин 1,3–1,35 начинался массовый вынос частиц фракций – 0,1 мм, за которым следовала полная деструктуризация. Градиент напора, равный 1,35, принят как кри-

тический, при котором руды могут переходить в пловунное состояние.

Установлено, что при извлечении из рудного горизонта воды в объеме 360 м³ в час, зона выноса руд может достичь радиуса 9,9 м, соответствующего очистному пространству, достаточному для получения промышленных параметров выемки порядка 30–40 тыс. т.

Теоретическими исследованиями, выполненными во ВНИИВОДГЕО, был обоснован циклический характер процесса добычи при использовании фильтрационной технологии, что получило практическое подтверждение. Поэтому представляется целесообразным ее использование в комбинации с другими способами, например, гидромониторными.

При применении фильтрационных технологий следует иметь в виду, что может иметь место неоднородность залежей ПИ по водно-физическим свойствам и возможность проявления внешней суффозии на границе с вмещающими породами. В таких случаях есть вероятность поступления в область пульпоприготовления плотного обломочного материала, который потребует соответствующих мероприятий для доизмельчения или нейтрализации его негативных воздействий на процесс добычи.

Интенсификацию разрушающих фильтрационных потоков можно усилить, повышая напор в рабочем горизонте путем нагнетания воды за контуром добычной выемки. В разное время появлялись предложения по использованию для разрушения и подачи на забой горной массы известных технологий гидроразрыва пластов. Горно-геологические и физико-геологические условия применения такого способа воздействия хорошо изучены при работах в нефтегазовой и угольной промышленности.

Полезные ископаемые, для которых по физико-геологическим характеристикам можно реализовать разрушение и дезинтеграцию с использованием фильтрационных потоков, представляют особый геотехнологический тип *внутреннеразмываемые ПИ*.

Использование гидромониторных струй для разрушения горных пород имеет многолетнюю практику, глубокие научные разработки и обширную научно-техническую литературу. Но это, прежде всего, относится к свободным незатопленным и затопленным струям.

Сведения об эффективности применения гидромониторных струй при СГД известны по результатам опытно-промышленных работ [1, 2]. В США при работах в незатопленных камерах на месторождении ураноносных песчаников прочностью на одноосное сжатие 140 кг/см²

радиус размыва составлял 7,6 м; на месторождении фосфоритов прочностью $126 \text{ кг/см}^2 - 5,5 \text{ м}$; на месторождениях коксующихся и битуминозных углей прочностью $315 \text{ кг/см}^2 - 4,6 \text{ м}$. В СССР кафедрой геотехнологии МГРИ выполнялись опытные работы на гидрогенных месторождениях урана и на комплексной палеороссыпи алмазов и золота Ичет-Ю. Прочность ПИ составляла по М.М. Протодяконову 1–1,5, радиус размыва достигал 3–5 м.

Величины радиуса размыва в затопленных камерах при повышении мощности оборудования могут иметь и большие величины. Здесь важнее другое – достаточно прочные горные породы при гидромониторной отбойке были дезинтегрированы в степени, необходимой для подъема на поверхность.

Более сложной является реализация СГД в затопленных камерах. Во всех источниках при анализе и расчетах принимается, что истекающая в камеру струя является свободной, а плотность струи и среды равны. Представляется, что такая позиция аргументирована недостаточно. Во-первых, истечение струи происходит в ограниченное пространство камеры, когда границы, особенно на начальных этапах, безусловно, влияют на эффективность работы струи, создавая условия для возвратных потоков, общей турбулентности и других явлений, свойственных стесненным струям. Во-вторых, как правило, при отбойке используется не только один или несколько боковых гидромониторов, но и забойный; при взаимодействии нескольких гидромониторов нельзя, ни в целом, ни для каждого гидромонитора в отдельности, рассматривать ситуацию с позиций свободных струй. В-третьих, струи, в силу конструктивных особенностей гидродобывчных снарядов, чаще всего истекают не в чистую воду, а в область пульпоприготовления и в зону отраженных потоков, содержащих твердый материал; следовательно, равенство плотностей среды и струи не будет соблюдаться. Это, а также захват струей твердых частиц, будет изменять ее параметры.

Рассчитать теоретически результаты процессов, происходящих в камере, тем более, что их характер будет непрерывно изменяться с расширением рабочего пространства и с изменением параметров струй, практически невозможно. Поэтому для каждого объекта и добычного устройства полезно выполнять стендовые испытания и обязательно – натурные эксперименты.

Для достаточной дезинтеграции прочных ПИ необходимо соблюдать определенные режимы подсечки и отбойки. Но и это не гаран-

тирует от образования крупнокускового материала, учитывая возможность разрушения по плоскостям отдельностей горных пород, обусловленных трещиноватостью, слоистостью и т.п. Это сужает границы чисто гидромеханического способа перевода ПИ в подвижное состояние без предварительного разуплотнения.

В связи с тем, что технология СГД требует достаточного измельчения добываемой массы, важнейшим технико-технологическим параметром является *дробимость* ПИ, которая характеризует энергоемкость процесса в условиях динамических нагрузок и, как показывает практика, лучше коррелирует с динамическими методами разрушения пород, такими, например, как предел прочности при одноосном сжатии. Прочностные характеристики зернистых горных пород и их дробимость зависят, прежде всего, от прочности цемента (матрицы), соотношений объемов матрицы и заполнителя, характера связей и пористости [12]. К слабым цементам относятся глинистый, лимонитовый, хлоритовый, слюдястый и др.; по соотношению матрицы и цементирующей части – контактовый, сгустковый, пленочный. В приведенном примере маритовых руд Шемраевского месторождения, пригодных для СГД, он в основном каолинит-шамозитовый, контактовый и пленочный; его содержание в рудах – до 4%.

Вся рассматриваемая группа слабощемментированных ПИ, в зависимости от устойчивости в обнажениях, может быть разделена на самообрушающиеся, которые сдвигаются при подсечке, и требующие принудительного сдвижения – отбойки. Выше рассматривались условия гидромониторного разрушения, которые подразумевают необходимость принудительного сдвижения ПИ.

Самообрушение широко используется на подземных работах, теория и практика его применения известны. Но в условиях СГД оно изучено недостаточно, особенно в условиях затопленных камер. Некоторые данные имеются по результатам работ на Шемраевском месторождении, где формирование подсечных выемок производилось с использованием фильтрационного разрушения слабых руд. При использовании этой технологии следует учитывать, что скважина играет роль «выпускного отверстия», форма очистной выработки будет приближаться к форме воронки выпуска [13] и иметь объем около трети цилиндрической камеры. Последнее требует внимательного подхода к выбору системы разработки во избежание низкого извлечения из недр. Безусловным требованием, кроме того, является способность ПИ к самоизмельчению.

Таким образом, естественным ограничением для использования СГД с применением гидромеханических технологий является возможность обеспечить процесс самоизмельчения ПИ, независимо от способа его сдвижения. Отсюда, для слабосцементированных ПИ могут быть выделены геотехнологические типы: *самообрушающиеся самоизмельчающиеся* и *принудительно сдвигаемые самоизмельчающиеся* ПИ.

На примере Шемраевского месторождения эти типы рассмотрены в нескольких работах [4, 14], они учтены временными разведочными кондициями при утверждении балансовых запасов руд, пригодных для СГД. По классификации М.М. Протодьяконова – это горные породы с коэффициентом крепости до 2, а по В.В. Ржевскому – до плотных, с показателем трудности разрушения менее 3.

Сцементированные

Решение проблемы использования СГД для прочных, в том числе скальных и полускальных ПИ, для которых гидромеханические способы разрушения не дают достаточного эффекта, связано с созданием способов, сочетающих эффективное разрушение их первичной структуры и дробление. В литературе по СГД эта тема обсуждается в общем плане, обычно ограничиваясь констатацией того, что для разрушения таких ПИ следует использовать механические способы: взрывы, вибрацию, специальные механизмы или химические и биологические процессы для разложения цемента (последние варианты автор относит к комбинированным геотехнологиям, заслуживающим отдельного рассмотрения).

Конкретных предложений мало. К ним можно, например, отнести разработки опытной технологии СГД угля для Прокопьевского месторождения, выполненные в горном отделении РАЕН [1]. Дробление каменного угля, характеризующегося прочностью на одноосное сжатие ($\sigma_{сж}$) до 24 МПа, образующего мощные крутопадающие пласты, предусмотрено взрывами, с обрушением горной массы на забой выдачной скважины.

Интересны с позиций СГД результаты исследований, выполненные ИГД им. А.А. Скочинского для условий гидрошахты Одесская-Комсомольская № 2 [15]. Здесь взрывные работы применялись при подготовке для подземной гидродобычи угля, который имеет коэффициент крепости по М.М. Протодьяконову до 2,36. Был получен выход фракций менее 50 мм 83,1%, а менее 100 мм – 95,7%. Таким образом, для достаточно прочных, но хрупких пород удавалось получать дезинтегрированный материал, пригодный для гидродобычи.

Имеется пример успешного промышленного применения взрывных работ при разработке месторождения плотных стекольных песков Дорохой в Румынии. Их обрушение и дезинтеграция выполняется с применением в камере взрывов небольших зарядов.

В результате исследований, выполненных сотрудниками МГРИ и Института горного дела ДВО РАН (А.И. Агошков, Н.И. Бабичев, А.М. Васянович, В.А. Дмитриев, В.С. Козлов, С.А. Рыбакова, М.М. Смирнов и другие), были предложены способы и устройства для осуществления СГД прочных, в том числе скальных ПИ, с применением ВВ. (а. с. СССР и РФ №№ 1492058, 1567776, 2032074, 2109949, 2150002). Но в них не рассматривается механизм получения той степени дезинтеграции, которая необходима для подъема горной массы на поверхность.

Оценивая перспективы освоения с применением технологии СГД месторождений прочных скальных и полускальных ПИ, характеризующихся химической (кристаллизационной) структурной связью, необходимо учитывать, что их основные физико-геологические и физико-технологические свойства, реакция на физические разрушающие воздействия и характер разрушенной горной массы зависят от структурно-текстурных особенностей и трещиноватости, формирующей естественную отдельность. Любые одноактные физические воздействия будут приводить к разрушению по слабым разделам внутри массива (кливаж, трещины, слоистость и т.п.) с образованием кускового материала. Регулировать размер кусковатости в условиях скважины, соблюдая требования, связанные с малыми проходными каналами пульпоподъемных систем, практически невозможно.

Представляется, что перспективным решением, которое может привести к прорыву в промышленном использовании СГД, является использование технологий разуплотнения разрабатываемых залежей на месте их залегания в горном массиве. Для последующей дезинтеграции горной массы такое разуплотнение должно обеспечивать деструктуризацию пород с неизбежным изменением их объема. То есть речь идет о явлениях дилатансии и, в конечном счете, об управлении физико-механическими свойствами горных пород на месте залегания.

Теория и направления прикладного использования дилатансионного разуплотнения разрабатывались в трудах В.Н. Николаевского [16, 17], В.В. Соколовского и других. В последнее время оно изучалось в связи с поиском решений для повышения проницаемости массивов путем их дробления и расчленения тре-

щинами при подземном выщелачивании урана, а также в нефтегазовой отрасли для повышения проницаемости пластов.

В системе Министерства среднего машиностроения СССР испытывались различные способы воздействий на массив и созданы установки генерирования силовых волн (УГСВ-2, УГСВ-3), которые применялись на месторождениях урана для разуплотнения рабочих горизонтов. Была разработана методика воздействия силовыми волнами на массив горных пород в зависимости от его структурно-минералогического состава.

В ООО «Украинская Импульсная Индустрия» для реализации модели дилатансионного разуплотнения созданы импульсно-волновые установки («ГИДРАВЛИКА-1Г», «ПНЕВМАТИКА-1П»), обеспечивающие различную частоту и энергию нагружения массива. Радиус воздействия на массив оценивается от десятков до сотен метров.

Имеются и иные варианты решений, например, способ и устройство, которые предложили сотрудники Криворожского горнорудного института А.И. Бажал, А.И. Зюган и др. (авторское свидетельство SU 1701896 А1 Е21В43/28, Е21В43/25 01.02.1989)

Волновые технологии рассчитаны на механизм усталостного разуплотнения горной породы, которое реализуется в 3 стадии: упругие искажения – субмикроскопическая трещиноватость – объединение трещин и смещения по ним. При переходе пород в запредельное состояние коэффициент разрыхления может достигать 1,04–1,1 [16, 18].

Кроме использования механизмов разработаны и уже применяются в нефтяной отрасли взрывные способы дилатансионного разуплотнения в межскважинном пространстве, в частности торпедирование скважин по технологиям, обеспечивающим управление неравномерностью взрывного нагружения массива. Реализуется это воздействие путем последовательного взрывания с заданным временем задержки рассредоточенных зарядов в интервале продуктивного горизонта [19].

Таким образом, дилатансионное разуплотнение горных пород уже используется в промышленных масштабах. Очевидно также, что разуплотненные в достаточной мере ПИ могут превращаться в объекты, пригодные для разработки гидромеханическими способами. Но такая технология пока что не испытывалась и даже не рассматривалась в практическом плане

Характеристика объектов для СГД (числовые значения параметров даны ориентировочно, подлежат уточнению для конкретных объектов)

Таблица 1

Физическое состояние ПИ	Геотехнологический тип	Физико-геологические характеристики	Способы сдвига и дезинтеграции
Рыхлые (раздельно-зернистые)	Плывучие	Мелко- и тонкозернистые пески в различной степени глинистые	Разжижение
	Сыпучие	Крупнозернистые и гравелистые пески	Размыв гидромониторами
Слабо-цементированные	Внутренне-размываемые	Разнозернистые с коэффициентом неоднородности гранулометрического состава 18–20 и выше, высокопористые хорошо проницаемые, со слабым минеральным цементом	Механическая суффозия фильтрационными потоками
	Самообрушающиеся самоизмельчающиеся	Зернистые с различной пористостью и проницаемостью, со слабым контактовым, пленочным, сгустковым и др. цементом, неустойчивые при подсечке; по дробимости – очень легко разрушаемые, мягкие с показателем трудности разрушения до 2	Подсечка, самоизмельчение в процесса сдвига и пульпоприготовления
	Принудительно сдвигаемые самоизмельчающиеся	Зернистые с низкой пористостью со слабым пленочным, поровым и смешанным цементом, устойчивые при подсечке, по дробимости – очень легко разрушаемые, мягкие и плотные с показателем трудности разрушения до 3	Отбойка гидромониторами или иным способом, самоизмельчение в процесса сдвига и пульпоприготовления
Цементированные	Предварительно разуплотняемые в массиве	Зернистые с прочным поровым и базальным цементом, с химическими (кристаллизационными) связями, полускальные и скальные легко разрушаемые с показателем трудности разрушения до 10	Разуплотнение в массиве с последующей разработкой гидромеханическими способами

для СГД. На Шемраевском месторождении выделялись как перспективный геотехнологический тип руды, требующие предварительного разуплотнения в массиве [14], но и в этом случае технология разуплотнения не разрабатывалась.

Во всей истории СГД научные исследования и практика, основные понятия и терминология формировались с учетом ее использования для освоения прежде всего рыхлых или слабосцементированных ПИ. Фактически, вольно или невольно, оказалась исключена из возможной сферы применения этой технологии подавляющая часть наиболее ценных минеральных объектов. Современное состояние науки о механике сплошных сред, в том числе о дилатансионном разуплотнении горных пород, позволяет приступить к разработке ее применения для скальных и полускальных ПИ. Исходя из этого, предлагается выделять в качестве перспективного геотехнологического типа *предварительно разуплотняемые в массиве ПИ*.

Их освоение позволит включить в сферу возможностей СГД большинство месторождений черных, цветных, редких и благородных металлов, химического сырья и других полезных ископаемых.


В *табл. 2* приведена характеристика объектов СГД, где показана связь между физико-геологическими особенностями ПИ, их геотех-

нологическими типами и возможными способами разрушения и дезинтеграции. Способы, предусмотренные для прочных ПИ, могут применяться для менее прочных или использоваться комбинации способов, если это повышает общую эффективность добычи. Например, самообрушение для внутреннеразрываемых ПИ и т.д.

Выводы

1. Физико-геологические параметры ТПИ, прежде всего, структурные связи, определяют их геотехнологический тип и являются основой для выбора эффективного способа СГД, в том числе технологий сдвижения и дезинтеграции ПИ.

2. Прорывные решения для существенного расширения минеральной базы для СГД за счет прочных зернистых ПИ, характеризующихся химическими (кристаллизационными) связями, могут быть достигнуты при использовании способов их разуплотнения на месте залегания, в том числе на основе явлений дилатансии.

3. Скважинная гидродобыча, с учетом имеющихся научных разработок, с углублением знаний и опыта управления физико-механическим состоянием горных массивов, должна стать по промышленной значимости в один ряд с традиционными способами разработки месторождений ПИ. 

Литература

1. Арнс В.Ж. Физико-химическая геотехнология. М. 2001.
2. Арнс В.Ж., Бабичев Н.И., Башкатов А.Д., Гридин О.М., Хрулев О.С., Хчян Г.Х. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых. М. 2007.
3. Кирцов В.В., Кошколда К.Н., Чесноков Н.И. Скважинные системы разработки рудных месторождений большой мощности. Технический прогресс в атомной промышленности. Сер. Горно-металлургическое производство. Вып. 1. М. 1990. С. 17–21.
4. Британ И.В. Проблемы геотехнологической классификации и выделение залежей богатых железных руд КМА, пригодных для скважинной гидродобычи // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2001. № 9. С. 130–141.
5. Хрулев А.С. Особенности скважинной гидродобычи золотосодержащих песков из мощных глубокозалегающих россыпей // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2001. № 9. С. 142–145.
6. Малухин Н.Г. Перспективные схемы подъема при скважинной гидродобыче богатых железных руд с глубин 800 и более метров // I советско-югославский симпозиум по проблеме скважинной гидравлической технологии. Т.1. М. 1991. С. 86–88.
7. Горшенин Н.Е. Организация массопереноса в затопленном очистном пространстве при скважинной гидродобыче. Известия Томского политехнического университета. Т. 321. 2012. № 1. С. 179–183.
8. Джастин Дж. Земляные плотины. ОНТИ, НКТП. 1936.
9. Исмагилов Б.В., Хрулев А.С. Исследование технологии гидравлического разрушения и доставки фосфоритной руды при СГД в затопленной камере. Тр. ГИГХС. Вып. 59. М. 1982.
10. Британ И.В., Гостюхин П.Д., Аллилуев В.Н., Лейзерович С.Г. Оценка разрушающей способности затопленной струи (итоги экспериментов) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005. № 9. С. 257–259.
11. Британ И.В. Испытания скважинного гидродобычного оборудования для отбойки руды в затопленных камерах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 1. С. 286–291.
12. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. М. 1984.
13. Абрамов Г.Ю., Вильмис А.Л. Скважинная гидродобыча глубоко залегающих богатых железных руд КМА // I советско-югославский симпозиум по проблеме скважинной гидравлической технологии. Т. I. М. 1991. С. 33–37.
14. Британ И.В. Скважинная гидродобыча – важное направление расширения минерально-сырьевой базы страны // Недропользование XXI век. 2007. № 6. С. 52–58.
15. Дмитриев В.А., Искужин С.М. Дробление твердых полезных ископаемых взрывами ВВ для разработки их способом СГТ // I советско-югославский симпозиум по проблеме скважинной гидравлической технологии. Т. I. М. 1991. С. 33–37.
16. Николаевский В. Н. Механика пористых и трещиноватых сред. М. 1984.
17. Николаевский В.Н. Геомеханика и флюидодинамика. М. Недра. 1996.
18. Баклашов И.В. Деформирование и разрушение породных массивов. М. 1988.
19. Михалюк А.В., Мухин Е.А., Михалюк С.А., Захаров В.В. Дилатансионные технологии торпедирования скважин для интенсификации добычи подземных флюидов. Киев. 1999.