

**И.В. Британ**

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

Методика изучения месторождений, перспективных для скважинной гидродобычи, на различных стадиях ГРП

Автор предлагает для обсуждения вариант основных положений методики изучения объектов минерального сырья, перспективных для скважинной гидродобычи, на различных стадиях ГРП. При заинтересованной поддержке государством можно ожидать быстрой и эффективной реализации потенциальных экономических и экологических преимуществ СГД

The author proposes to discuss the version of the basic provisions of the methodology of the study of objects of mineral raw materials, potentially productive to hydraulic mining by boreholes, at various stages of exploration. When the interested state support you can expect a quick and effective realization of the potential economic and environmental benefits of hydraulic mining by boreholes

Ключевые слова: геотехнология, скважинная гидродобыча, геотехнологическое прогнозирование, геотехнологическое опробование, опытная добыча, геологоразведочные работы

Keywords: geotechnology, hydraulic mining by boreholes, geotechnological forecasting, geotechnological testing, pilot production, geological exploration

Основной нормативно-методических требований к ГРП на ТПИ служит огромный опыт изучения месторождений, которые эксплуатировались традиционными способами. Освоение скважинных геотехнологий (подземного выщелачивания металлов и др.) стали причиной внесения дополнений в перечень натуральных показателей качества и свойств ПИ, горнотехнических условий разработки, которые необходимо изучать при геолого-экономических оценках месторождений.

Научные исследования и опыты показали, что на очереди промышленное применение скважинной гидродобычи (СГД), являющейся **способом подземной добычи, при котором вскрытие, дезинтеграция и выдача на поверхность полезных ископаемых в форме гидроминеральной смеси производится через скважины.**

Эта геотехнология имеет принципиальное отличие от других по методам и результатам фазовых преобразований, которые осуществляют в недрах. Во всех случаях, кроме СГД, реализуется селективное (избирательное) извлечение полезных компонентов, заключенных в горной массе, и перевод их для подъема на поверхность в гомогенное жидкое (раствор, расплав) или газообразное состояние. При СГД ПИ извлекается без изменения природного минерального состава в виде гетерогенной смеси твердых частиц дезинтегрированной массы с водой или с водой и воздухом. Отличия в технологии вызывают необходимость изучения различных свойств ПИ и особенностей влияния процессов добычи на окружающую среду. Поэтому подготовка объектов минерального сырья для СГД требует внесения в содержание и методику ГРП соответствующих дополнений и изменений.

«Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» предусматривают на объектах, перспективных для применения СГД, опытно-промышленную разработку (ОПР) в рамках проектов разведочной стадии работ. Но разведка – заключительная стадия подготовки месторождения к эксплуатации. Промышленная значимость объектов минерального сырья и целесообразность перехода к разведке определяются на стадии оценки, которая завершается составлением ТЭО временных разведочных кондиций и подсчетом запасов, преимущественно категории C_2 .

Очевидно, что нельзя считать оценку объекта, перспективного для СГД, завершённой без определения реальных возможностей применения этого способа добычи и его экономической эффективности. Кроме того, в проектах разведочных работ нельзя обосновать методику и реализовать ОПР при нулевом или недостаточном знании геотехнологических свойств ПИ и других условий разработки, возможных объемов извлечения из скважин и производительности процесса, а также без подготовки технологического регламента работ.

Поэтому уже на стадии оценки необходимо выполнять исследования, включающие натурные испытания технологии, достаточные для выделения и оконтуривания пригодных для СГД залежей ПИ, обоснования для них временных разведочных кондиций и подсчета запасов. Специальные работы требуют значительных затрат средств и времени. Следовательно, выбор объектов для оценки должен производиться уже по результатам поисков, а перспективы их выявления на изучаемых территориях могут определяться на самой ранней стадии геологоразведочного процесса – при региональном геологическом изучении недр и прогнозировании ПИ, в том числе при объемном и глубинном геологическом картировании закрытых территорий.

Для обсуждения предлагается следующий вариант основных положений методики изучения объектов минерального сырья, перспективных для СГД, на различных стадиях ГРР.

1. Изучение вновь открытых проявлений и месторождений

Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование ПИ

При среднемасштабном и крупномасштабном геологическом картографировании (1:200 000–1:25 000) предусматривается [5] необходимость комплексной оценки перспек-

тив выявления ПИ с определением ресурсов по категориям P_3 и P_2 . В районах с двух- и трехъярусным строением, где объекты изучения, перспективные на обнаружение ПИ, залегают на значительных, но доступных для освоения глубинах, должно выполняться объемное или глубинное геологическое картирование с применением буровых работ. ***Понятие доступности для освоения глубин с перспективой внедрения технологии СГД существенно меняется.*** Это должно учитываться при проектировании и выполнении региональных работ.

Запасы категории P_2 , подсчитанные для выявленных проявлений или перспективно оцененных геохимических и геофизических аномалий, дают представления о генетической и классификационной принадлежности прогнозируемых месторождений, ожидаемых горно-геологических условиях, возможном физическом состоянии ПИ в недрах, а при вскрытии проявлений картировочными скважинами – их физико-геологических свойствах по результатам изучения керна и каротажа. Такие сведения позволяют рассматривать перспективы прогнозируемых месторождений с позиций способов разработки, в том числе и возможность использования СГД.

Следовательно, на этой стадии ГРР возможно и необходимо выполнять ***геотехнологическое прогнозирование***, используя методы геологического анализа и данные прямых наблюдений.

Стадия 2. Поисковые работы

Поиски скрытых и погребенных месторождений, прослеживание на глубину выявленных проявлений, геофизических и геохимических аномалий, опробование и изучение вскрытых проявлений ПИ осуществляется поисковыми скважинами. Производится определение вещественного состава, содержания основных и попутных компонентов, изучаются структурно-текстурные особенности, в необходимых случаях – технологические свойства. Получают сведения об обводненности залежей и условиях залегания.

В задачи поисковых работ входит подсчет на выявленных проявлениях прогнозных ресурсов категорий P_2 и P_1 с определением возможных промышленных типов месторождений. Основные требования к результатам работ на этой стадии включают геолого-экономическую оценку объектов по укрупненным показателям, которая зависит от предполагаемых способов добычи, а также рекомендации о целесообразности и очередности дальнейшего проведения работ.

Предварительные заключения о возможностях использования СГД для выявленных

залежей могут быть сделаны на основании визуального изучения физического состояния керна поисковых скважин. Но имеющийся опыт свидетельствует, что нередко по керну не удается различить рыхлые и разрыхленные породы. В результате происходят грубые ошибки при оценке состояния ПИ в недрах.

В случаях значительных глубин, сложных горно-геологических условий, при обоснованных сомнениях в возможности использования традиционных способов добычи, рыхлые и слабосцементированные ПИ необходимо подвергать технологическим испытаниям в условиях естественного залегания. С этой целью могут использоваться как поисковые скважины, так и скважины, специально пробуренные для геотехнологического опробования.

По содержанию, основным результатам исследований, в том числе натурных испытаний, предлагается относить работы на поисковой стадии к **геотехнологическому опробованию**.

Стадия 3. Оценочные работы

Основной задачей этой стадии является определение промышленной ценности месторождений. Комплекс выполняемых ГРП должен обеспечивать изучение качества ПИ и технологических свойств, гидрогеологических и горнотехнические условия разработки в степени, достаточной для составления ТЭО временных разведочных кондиций, квалификации всех или большей части запасов по категории C_2 и обоснования целесообразности дальнейшей разведки и добычи. Достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел ПИ подтверждается на участках детализации с подсчетом разведанных запасов категории C_1 .

При оценке месторождений для СГД выполнение основных требований этой стадии невозможно без специальных исследований. Они должны включать работы по изучению залежей или их перспективных частей с целью определения геотехнологических характеристик ПИ в естественных условиях. Обоснование геолого-экономической оценки невозможно без получения данных, достаточных для определения возможной продуктивности скважин (объема извлечения), производительности добычи и возможной системы разработки. В случае положительных результатов такие данные станут основой для разработки технологического регламента ОПР при проектировании следующей стадии – разведки.

Опробование и изучение ПИ требуется не только для получения базовых физико-технических параметров, но и для оценки горно-технологических свойств, определяющих реакцию

на различные воздействия. В условиях применения гидромеханических способов разрушения наиболее важными являются водно-физические параметры (влажность, влагоемкость и водоотдача, гранулометрический состав, глинистость, пористость, трещиноватость, фильтрационные свойства), в том числе разрушаемость под воздействием фильтрационных потоков за счет механической суффозии и др. Во всех случаях необходимы данные для оценки разрушаемости механическим способом (крепость, дробимость, вязкость). Перечень изучаемых характеристик может быть существенно расширен при использовании в процессе добычи взрывных работ, вибрационных, химических и иных воздействий.

Специфика СГД требует выполнения геотехнологического картирования. На практике это означает выделение природных типов ПИ, определение их горно-технологических свойств, выделение пригодных для СГД геотехнологических типов и определение их пространственного положения. Важным элементом такой работы является изучение генетических причин физических и горно-технологических неоднородностей в залежах, в том числе влияния на физическое состояние пород процессов вторичных изменений [4].

Наряду с изучением свойств ПИ по результатам опробования керна и геофизическим данным, необходимо выполнять химические, минералогические, гранулометрические, технологических и другие исследования извлекаемой из залежей минеральной массы. Их цель – получить сравнительные характеристики ПИ в недрах и поднятого на поверхность для выявления возможных процессов селективной выемки, обогащения или разубоживания, изменения технологических свойств, а также для уточнения геотехнологических характеристик.

Комплекс геофизических исследований скважин должен обеспечивать детальное литологическое расчленение разреза и выделение опорных горизонтов в массиве ПИ; определение связей между физическим состоянием пород и параметрами геофизических полей; выявление геофизических критериев для геотехнологического картирования. В составе комплекса могут быть использованы, в дополнение к стандартному, акустический и плотностной гамма-гамма каротаж, способы межскважинного просвечивания и другие, в зависимости от физико-геологических особенностей изучаемых объектов [6].

Опытная добыча должна проводиться со следующими основными целями:

- уточнение горно-технологических параметров природных разновидностей ПИ и вы-

деление на этой основе геотехнологических типов, пригодных для СГД;

- уточнение гидрогеологических и инженерно-геологических характеристик залежей и вмещающих пород, с учетом реакции горного массива на процессы СГД;
- определение эффективности применения на месторождении СГД по фактически достигнутым параметрам добычи и перспективным, которые могут быть достигнуты с внедрением обоснованных технических и технологических решений.

Выбор участка опытных работ и разработка методики испытаний технологии возможны только после выполнения основного комплекса оценочных ГРР. Участок должен быть представительным и наиболее изученным. Его целесообразно совмещать с площадью детализации, на которой проверяется достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел ПИ.

Подготовка и проведение опытных работ, в том числе выбор оборудования и способов СГД, выполняются исходя, прежде всего, из необходимости выяснить в конкретных горно-геологических условиях месторождения достижимую продуктивность скважин, производительность добычи и определить реакцию горного массива на СГД, в том числе реальную устойчивость ПИ и вмещающих горных пород.

В методике опытных работ необходимо предусматривать решение основных задач:

- выбор способа вскрытия залежи;
- выбор для испытаний или разработка способов СГД и скважинного добычного оборудования (гидродобычных снарядов) в соответствии с реальными горно-геологическими условиями и физико-геологическими характеристиками ПИ;
- определение конструкции скважин и технологии их сооружения;
- выбор технических средств управления и энергетического обеспечения технологических процессов;
- испытания выбранных способов СГД по всему технологическому циклу (сдвигание, дезинтеграция, доставка на забой, приготовление пульпы, ее доставка на поверхность, и транспортирование на рудоприемный узел);
- опробование и исследования пульпы и добытой руды;
- оценка извлечения, потерь и разубоживания (или обогащения) ПИ;
- оценка воздействий СГД на окружающую среду.
- обеспечение контроля за развитием очистного пространства, сдвижением окружающих

горных пород и земной поверхности, за изменением гидрогеологического режима в горном массиве;

Опытные работы необходимо предварять математическим моделированием или моделированием на материалах, эквивалентных ПИ и вмещающим породам, для прогнозирования возможного развития очистного пространства и реакций горного массива на воздействия. Моделирование, опыты и анализ горно-геологической ситуации должны быть достаточными для определения возможных (перспективных) систем разработки.

Опыты следует начинать в одиночных добычных скважинах. По их результатам может быть определена эффективность применяемого оборудования и технологических решений и выполнена, при необходимости, корректировка технического оснащения и методики испытаний технологии. Эффективность от таких работ, учитывая отсутствие достаточного производственного опыта применения технологии, можно ожидать только при условии научного сопровождения, выполнения достаточных объемов опытно-конструкторских работ и стендовых испытаний технических средств.

Если данные, полученные в одиночных скважинах, недостаточны для решения всех вопросов, связанных с оценкой месторождения, может возникнуть необходимость их продолжения после технико-технологического переоснащения или с дополнительными исследованиями взаимодействий двух и более скважин. Эти же работы могут послужить основанием для заключения о неэффективности и прекращении испытаний технологии СГД на оцениваемом месторождении (участке).

При разработке ТЭО временных разведочных кондиций необходимо выполнять сравнительные геолого-экономические оценки ожидаемых результатов применения скважинной и традиционных технологий разработки. Натуральные параметры и физические показатели кондиций, как правило, не будут совпадать с традиционными, т.к. должны обеспечивать выделение и оконтуривание промышленных типов ПИ с учетом геотехнологических свойств. Поэтому подсчет запасов необходимо выполнять отдельно для скважинного и традиционного способов разработки. В том случае, когда для СГД пригодны лишь части залежей, как это, например, типично для богатых железных руд КМА, необходимо выполнять подсчет общих запасов с выделением, в том числе, руд пригодных для СГД.

Стадия оценки является решающей в определении возможностей промышленного ис-

пользования СГД. По результатам специального изучения ПИ, горно-геологических условий и данным опытной добычи должны быть получены следующие основные результаты:

- выделены геотехнологические типы ПИ, пригодные для СГД и определены условия их оконтуривания;
- выполнено геотехнологическое картирование, установлено положение и оценены параметры рабочих горизонтов;
- обоснованы опытами техническая и технологическая возможности добычи с продуктивностью (объемом извлечения) скважин и производительностью, достаточными для положительной геолого-экономической оценки месторождения;
- определена принципиальная возможность реализации системы (систем) разработки, обеспечивающей допустимый уровень извлечения ПИ из недр, потерь и разубоживания;
- оценено возможное влияние на окружающую среду;
- предложены мероприятия по обеспечению технической и экологической безопасности производства СГД.

В соответствии с содержанием и результатами предлагаемый комплекс исследований на стадии оценки месторождений может быть определен как **опытно-методические работы (опытная добыча)**.

Стадия 4. Разведка месторождения

ГРР этой стадии выполняются на оцененных месторождениях с целью получения информации для проектирования строительства горнодобывающего предприятия. В их содержание входит уточнение вещественного состава, технологических, горно-технологических свойств и других характеристик промышленных типов и сортов полезных ископаемых, которые получены на предыдущей стадии.

Гидрогеологические, инженерно-геологические, горно-геологические условия изучаются с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных для составления проекта разработки месторождения, в том числе с применением СГД.

По результатам разведочных работ разрабатывается ТЭО постоянных разведочных кондиции, производится подсчет запасов по категориям в соответствии с группировкой месторождений по сложности строения. Дается детальная экономическая оценка промышленной ценности месторождения.

Важной особенностью стадии в современных условиях является право недропользователя определять размещение и количество раз-

данных запасов, их соотношение по категориям как с учетом геологических особенностей месторождения, так и с учетом условий финансирования и строительства горнодобывающего предприятия, а также принятого уровня предпринимательского риска капиталовложений.

Поэтому ОПР месторождения (участка), перспективного для СГД, может быть прямым продолжением опытно-методических работ, выполнявшихся на стадии оценки месторождения, и производиться параллельно с выполнением всего комплекса разведочных работ; или решением недропользователя выполнение ОПР может быть сдвинуто на заключительный период, если требуются уточнения пространственного положения опытного участка и/или дополнительные сведения о ПИ и горно-геологической ситуации.

В процессе ОПР необходимо выполнять исследования, направленные на углубленное изучение геотехнологических свойств ПИ, морфологии и особенностей внутреннего строения залежей, горно-геологических и горнотехнических условий с получением данных, достаточных для детального геотехнологического картирования.

Исследования технологических свойств извлеченной массы ПИ следует выполнять по всему циклу использования (условия складирования, обезвоживание, транспортировка, промышленная переработка).

ОПР должна выполняться по технологическому регламенту, разработанному на основании материалов и рекомендаций, полученных в результате оценки месторождения. Регламент может уточняться по мере получения новых данных. Состав и объемы ОПР должны обеспечивать выбор:

- оптимального варианта вскрытия месторождения;
- конструкций скважин и гидродобычного оборудования, соответствующих требованиям промышленного производства;
- способов эффективных воздействий, обеспечивающих сдвигание, дезинтеграцию, доставку на забой и подъем на поверхность всех выявленных геотехнологических типов и сортов ПИ, признанных пригодными для СГД;
- путей достижения достаточной по экономическим соображениям продуктивности скважин, производительности и других параметров добычи;
- системы разработки, обеспечивающей приемлемый уровень извлечения, минимизацию потерь и разубоживания;
- мер технической, технологической и экологической безопасности.

Существенное отличие ОПР от опытно-методических работ на предыдущей стадии заключается в обязательном достижении показателей добычи, соответствующих требованиям эффективной промышленной разработки месторождения (участка). При этом должны быть оценены параметры элементов системы разработки и получены исходные данные для технологического регламента, который послужит основой для проектирования строительства горнодобывающего предприятия.

При выполнении ОПР некоторые задачи, дополняющие или уточняющие результаты исследований предыдущей стадии, могут решаться в отдельных скважинах. Но главное – достоверные данные о взаимодействии скважин, их продуктивности, производительности процесса и объективная информация о влиянии добычных работ на состояние горного массива могут быть получены только на представительном для месторождения участке (участках) при добыче в объемах, как минимум, основной ячейки системы разработки, например, блока или панели.

Так же как и на стадии оценки, определение сложности геологического строения месторождения (участка) и параметров кондиций, а также подсчет запасов должны выполняться раздельно для СГД и традиционных способов разработки.

В ТЭО постоянных разведочных кондиций, подготовленном по результатам ГРР и **опытно-промышленной разработки**, производится полноценное сравнение эффективности отработки месторождения с использованием СГД и традиционными способами.

Предлагаемое содержание исследований с целью определения пригодности объектов минерального сырья для СГД на различных стадиях ГРР приводится в *таблице 1*.

2. Изучение месторождений, ранее выявленных при поисках, оцененных или разведанных для традиционных способов разработки

В настоящее время в стране имеется значительный резерв выявленных при поисках, оцененных и разведанных месторождений ТПИ, которые по различным причинам не эксплуатируются, в том числе из-за залегания на больших глубинах и в сложных горно-геологических условиях. Некоторые из них могут рассматриваться в качестве перспективных для освоения с применением СГД. Но, анализируя сведения о таких объектах, необходимо иметь в виду, что физико-геологические характеристики, полученные в процессе ГРР, а также физическое состояние керна, тем более после его длительного хранения, могут служить материалом лишь для осторожного прогнозирования пригодности ПИ для СГД.

Уже отмечалось, что степень изученности месторождений, подготавливаемых для традиционных способов разработки, не может быть перенесена на оценку их изученность при подготовке к СГД. Причины в основном две.

Во-первых, невозможно с необходимой достоверностью определить пригодность ПИ для этой технологии без натуральных испытаний. Во-вторых, не исключаются несовпадения оценок по сложности геологического строения из-за различий в параметрах, по которым произво-

Исследования пригодности объектов минерального сырья для скважинной гидродобычи на различных стадиях ГРР

Таблица 1

Стадии ГРР	Основные цели ГРР	Работы по определению пригодности объектов для СГД
Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование ПИ	Локальный прогноз и начальная геолого-экономическая оценка потенциальных объектов минерального сырья	Геотехнологическое прогнозирование для потенциальных объектов минерального сырья
Стадия 2. Поисковые работы	Выявление месторождений ПИ и определение их перспективности для дальнейшего изучения	Геотехнологическое опробование залежей ПИ
Стадия 3. Оценочные работы	Определение промышленной ценности известных или вновь выявленных при поисковых работах объектов минерального сырья	Опытно-методические добычные работы (опытная добыча) на представительном (представительных) участке залежей ПИ
Стадия 4. Разведка месторождения	Получение информации для проектирования строительства горнодобывающего предприятия	Опытно-промышленная разработка месторождения (участка)

дится выделение и оконтуривание ПИ, а значит и несовпадение квалификации запасов по категориям для существующих разведочных сетей. Поэтому ресурсы и запасы месторождений, выявленных при поисках, оцененных или разведанных для традиционных способов разработки, могут при положительном **геотехнологическом прогнозе** относиться с позиций СГД только к прогнозным ресурсам не выше категории P_1 .

Как следствие, на таких месторождениях потребуется выполнять доизучение горно-технологических и других характеристик ПИ, выполнять геотехнологическое картирование и натурные испытания технологии СГД для получения информации, соответствующей определенной стадии ГРР. С целью снижения рисков целесообразно начинать работы с **геотехнологического опробования**, которое может, как правило, выполняться с использованием серийного оборудования, применяемого при бурении геологоразведочных скважин и гидрогеологических исследованиях. Переход к **опытно-методическим работам (опытной добыче) и ОНР** будет определяться полученными результатами.

3. Изучение месторождений, разрабатываемых и ранее отработанных традиционными способами

Во многих случаях на месторождениях, эксплуатируемых подземным или открытым способами, фланговые, чаще всего глубокозалегающие части остаются за пределами разработок по экономическим соображениям. По тем же причинам остались за пределами освоения отдельные участки ранее отработанных месторождений.

В случаях благоприятных горно-геологических условий и физического состояния ПИ

следует рассматривать применение технологии СГД для доработки месторождений.

Изучение участков, перспективных для доработки путем СГД, по своему содержанию и задачам, в основном, аналогично исследованиям ранее выявленных, оцененных или разведанных месторождений. Эффективности работ будет способствовать накопленный объем информации об условиях залегания и горно-технологических свойствах ПИ. Дополнительных исследований потребует оценка влияния отработанных массивов, а при одновременном использовании традиционных технологий и СГД – взаимного влияния технологий и условий безопасности.

В целом перспективы промышленного внедрения СГД следует рассматривать с учетом неизбежного сокращения ресурсов ПИ, находящихся в условиях, благоприятных для традиционных способов добычи. При этом важно понимание научно-технической сложности ее разработки и внедрения. Необходимо системное решение проблем, включая геологическую подготовку месторождений к эксплуатации.

Без заинтересованной поддержки государством решение такой масштабной задачи может продолжаться многие годы. В настоящее время были бы полезными финансовые льготы при лицензировании и налогообложении, компенсирующие дополнительные затраты, возникающие на стадии изучения месторождений, а также с целью стимулирования промышленного внедрения новой технологии. Условия лицензирования должны предусматривать сроки, достаточные недропользователю для выполнения специальных работ и натурных испытаний. Тогда можно ожидать быстрой и эффективной реализации потенциальных экономических и экологических преимуществ СГД. **■**

Литература

1. Арнс В.Ж. Физико-химическая геотехнология. М. 2001. С. 656.
2. Британ И.В. Скважинная гидродобыча – важное направление расширения минерально-сырьевой базы страны // Недропользование XXI век. 2007. № 6. С. 52–58.
3. Британ И.В. Проблемы геологической подготовки месторождений для скважинной гидродобычи // Горный информационно-аналитический бюллетень. М. 2008. № 7. С. 332–337.
4. Британ И.В. Геотехнологическое картирование месторождений, подготавливаемых для скважинной гидродобычи. Материалы 11-го международного симпозиума «Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях». Белгород, 2011. С. 187–196.
5. Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (ТПИ). М. 1999.
6. Семенова М.П., Голубева А.А. Принципы комплексирования геофизических методов для решения задач, связанных с технологическим процессом скважинной гидродобычи полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. М. 1999. № 2. С.138–139.