

УДК: 65.304.11

**Исследование проблем оценки эколого-экономической и социальной эффективности геотехнологических методов добычи полезных ископаемых**

Ахметжанов Б.А.<sup>1</sup>, Андарова Р.К.<sup>2</sup>, Казбеков Т.Б.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Карагандинский государственный технический университет;

<sup>2</sup>Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова

Пайдалы қазбаларды жер қойнауында жылжымалы күйге келтіру арқылы өндіруге негізделген тау-кен ісінің жаңа тарауы ретіндегі геотехнологияның физикалық-химиялық мәні айқындалған. Бірқатар елдерде физикалық-химиялық геотехнологияның тәжірибесі жеткілікті дәрежеде сәтті дамып, өнеркәсіптік көлемге дейін жеткен. Мақалада физикалық-химиялық геотехнология ілімінің негізгі мәселелері қарастырылған, физикалық-химиялық тәсілдердің терминологиясы және жіктелуі берілген, минералды шикізатты өндірудің геотехнологиялық тәсілдері дамуының негізгі бағыттары, экологиялық және әлеуметтік тұстары ашылып көрсетілген. Пайдалы қазбалардың бұрғылау гидроөндірісінің негізгі үдерістері пайымдалған. Физикалық-химиялық геотехнологияның көмірлерді жер асты газификациялау және көмір қабаттарын жер асты жағу секілді болашағы зор тәсілдеріне көңіл бөлінген. Металдарды жер асты және үйіндіде сілтілендірудің геотехнологиялық үдерістерінің артықшылықтары талданған. Геотехнологиялық үдерістерді экономикалық-математикалық модельдеу мәселелеріне көңіл бөлінген.

The essence of physical and chemical geotechnology as one of new sections of the mining devoted to means of mining operations by their transfer in a mobile condition in bowels of the earth comes to light. It is noticed that practice of physical and chemical geotechnology successfully enough develops in a number of the countries, reaching industrial scales. The basic questions of the theory of physical and chemical geotechnology are considered, terminology and classification of physical and chemical methods are given, mainstreams of development of geotechnological methods of extraction of mineral raw materials are allocated. Ecological and social aspects of geotechnology reveal. Processes of hydraulic mining operations are covered. The attention to such perspective ways of physical and chemical geotechnology as underground gasification of coals and underground burning of coal layers is paid. Advantages of geotechnological processes underground and compact leaching of metals are analyzed. The attention to expediency of economic-mathematical modeling of geotechnological processes is paid.

В рецензируемой монографии профессора Р.С.Каренова «Эколого-экономическая и социальная эффективность геотехнологических методов добычи полезных ископаемых» [1], вышедшей в свет в 2011 г., доказывається, что наиболее эффективными методами повышения полноты использования богатств недр, вовлечения в эксплуатацию некондиционных или потерянных руд являются геотехнологические методы добычи полезных ископаемых. Отмечается, что применение геотехнологических методов имеет большое экономическое и социальное значение, поскольку позволяет: увеличить добычу полезных ископаемых без увеличения численности рабочих; свести к минимуму затраты на вскрытие и подготовку залежей; исключить или резко сократить операции по разрушению, доставке и транспортировке горной массы; исключить присутствие людей под землей и повысить производительность труда; снизить себестоимость металла в 2–3 раза.

Известно, что базовые отрасли промышленности Казахстана (нефтегазовый сектор, угольная отрасль, горнодобывающая и металлургическая промышленность) вносят основной вклад в экономику страны. Они обеспечивают главный приток валюты в государственную казну. Только за 1995–2010 гг. добыча полезных ископаемых в республике выросла на 104 млн. т. Ежегодно из страны

вывозится более 240 млн. т минеральных ресурсов более чем в 70 стран мира. Сегодня в расчете на душу населения годовая добыча полезных ископаемых составляет у нас 15,5 т. Это третий показатель в мире (после Австралии и Саудовской Аравии).

Вместе с тем горная промышленность Казахстана характеризуется в последние годы снижением эффективности вследствие резкого ухудшения горно-геологических и горнотехнических условий разработки, перехода горных работ на глубокие горизонты, истощения возможностей эффективного использования недр традиционными технологиями.

Иначе говоря, сегодня в области горнодобычных работ начинает складываться такая ситуация, когда не только совершенствование существующей технологии, но даже создание принципиально новой не может обеспечить ни резкого повышения производительности труда, ни существенного снижения себестоимости продукции, не говоря о нарастающих проблемах экологии и защиты недр земли, если добыча будет вестись традиционными шахтными и карьерными способами. Они требуют выемки на поверхность огромного количества руды и еще больше пустой породы, создают огромные пустоты в недрах земли, предполагают сооружение на поверхности производственно-бытовых комплексов, проведение сложных подземных коммуникаций для подачи воды, воздуха, электричества, вынуждают применять взрывчатку, нарушая геодинамику и отравляя подземные воды выделившимися при этом углекислыми газами. Люди вынуждены работать в условиях, не соответствующих санитарным нормам. Весь комплекс этих работ, сопровождающихся огромными материальными затратами, делается лишь для того, чтобы вскрыть продуктивный пласт толщиной всего несколько метров, а то и сантиметров, содержащий несколько граммов извлекаемого компонента на тонну руды.

Можно ли в горнодобычных работах исключить все перечисленное и значительно снизить себестоимость добычи? Вполне, но для этого нужны суперпроекты, основанные на новейших способах извлечения полезных ископаемых. Один из них — физико-химическая геотехнология (ФХГ). Геотехнологические методы добычи минерального сырья — новый раздел современного горного дела, посвященный процессам и средствам добычи полезных ископаемых путем перевода их в подвижное состояние в недрах земли и последующего извлечения ценных компонентов в продуктивную фракцию (продукты или полупродукты). В последнее время практика ФХГ достаточно успешно развивается в ряде стран, достигая промышленных масштабов (например, подземное и кучное выщелачивание урана, меди, золота и др.).

В рецензируемой монографии освещаются результаты изучения эколого-экономической и социальной эффективности геотехнологии, обладающей несопоставимыми преимуществами против традиционных горных способов разработки месторождений полезных ископаемых. Это связано с небольшими объемами горнодобычных работ и сроками отработки, техническими возможностями и эффективной разработкой бедных месторождений, а также повышением показателей извлечения залежей. Это значит, что есть возможность переводить ныне нерентабельные месторождения полезных ископаемых в разряд высокодоходных, а также перенести процесс добычи с поверхности земли и резко сократить капитальные вложения на этих работах. Еще одно очень важное преимущество геотехнологии — возможность восстановления недр земли путем закачки через скважины экологически безвредных растворов, что невозможно при нынешних горных способах добычи руды.

Монография состоит из трех частей, объединяющих 14 глав. В первой части «Технологический прогресс как магистральное направление реализации Государственной программы форсированного индустриально-инновационного развития Республики Казахстан», включающей первые три главы книги, показывается, что на сегодняшний день имеет место несоответствие между интересами по наращиванию производственных мощностей горной промышленности и темпами развития ее минерально-сырьевой базы.

Во многом причиной такого положения является отсутствие средств механизации горных работ для поточных и циклично-поточных технологий, ухудшение горно-геологических и горнотехнических условий при разработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах, отсутствие единой и обоснованной системы качественного управления недропользованием.

Важные сдвиги в решении этих проблем намечены в Стратегическом плане развития Республики Казахстан до 2020 г. и Госпрограмме форсированного индустриально-инновационного развития страны в 2010–2014 гг. В этих документах предусмотрен курс на обновление устаревших технологий, техники и оборудования с учетом последних научных и инженерных достижений. Такой подход в развитии промышленности и, в частности, горнодобывающей отрасли, резко повышает необходимость и актуальность проведения целого комплекса теоретических и экспериментальных исследова-

ний, направленных на изыскание эффективных и экологически безопасных способов и средств добычи и переработки полезных ископаемых.

Во второй части «Приоритетные направления решения основных технико-экономических и экологических проблем в горнодобывающей промышленности Казахстана», объединяющей 4–7 главы монографии, анализируются экологические и социальные аспекты геотехнологии. Логика построения второй части автором не вызывает особых возражений. Практически все известные из литературы экологические и социальные аспекты геотехнологии рассматриваются в книге на высоком и доступном для специалистов горного дела научном уровне.

Часть третья монографии под названием «Эффективность создания и использования геотехнологических методов добычи полезных ископаемых в отдельных отраслях горной промышленности» объединяет заключительные семь глав (8–14) и представляет геотехнологическую теорию и практику: подземную газификацию углей; скважинную гидротехнологию; подземное сжигание углей (серы); подземное выщелачивание металлов (фосфорного сырья); кучное выщелачивание металлов; получение синтетического жидкого топлива из углей. Данный раздел (часть) рецензируемой книги существенно отражает существующее положение дел в рассматриваемой области геотехнологии. Третья часть логически дополняет первые две части монографии и является, безусловно, центральной и необходимой.

На наш взгляд, в восьмой главе «Формирование научной базы для развития и внедрения геотехнологических способов добычи полезных ископаемых» автор справедливо уделил достаточно внимания теоретическим основам физико-химической геотехнологии (ФХГ), подкрепив их имеющимися сведениями из опыта действующих опытно-промышленных и промышленных предприятий. В данной главе рассматриваются основные вопросы теории ФХГ, терминология и классификация физико-химических методов, основные направления развития геотехнологических методов добычи полезных ископаемых. Все это хорошо предвещает дальнейшее рассмотрение теории и практики ФХГ.

Обращается внимание на то, что геотехнологические методы возможны при подземной газификации углей, кислотном и бактериальном выщелачивании металлов, расплавлении серы, извлечении минеральных продуктов из термальных вод и вулканических выделений, добыче калийных солей растворением, с последующим выкачиванием раствора и выпариванием его на поверхности. Например, при гидравлической добыче серы все операции по проходке стволов, развитию сети горных выработок, систем выемки и транспорта заменяются двумя операциями: бурение скважин и нагнетание горячей воды в пласт с последующей откачкой расплавленной серы на поверхность. При этом ликвидируется вообще необходимость постоянного присутствия людей под землей, за исключением производства ремонтных работ.

Подчеркивается, что геотехнологические методы позволяют вовлечь в эксплуатацию месторождения, залегающие в особо сложных условиях, с непромышленным содержанием руд, расширить добычу рассеянных элементов. В связи с этим в мировой практике прослеживается тенденция перехода от классической горной технологии к геотехнологическим методам добычи полезных ископаемых.

В девятой главе излагаются современное состояние и перспективы подземной газификации углей (ПГУ) для экологически безопасной и экономически рентабельной разработки угольных пластов. Доказывается, что в будущем роль угля в топливно-энергетическом балансе (ТЭБ) Казахстана может быть повышена не только за счет его прямой добычи, сопровождающейся неизбежными экологическими ущербами, заслуживает внимания возможность превращения угля на месте его залегания (под землей) в более экологически чистые газообразные энергоносители. К такой нетрадиционной технологии разработки угольных пластов следует отнести подземную их газификацию, обеспечивающую осуществление реакций неполного окисления угля в подземных условиях непосредственно на месте залегания угольных пластов — в подземном газогенераторе, с получением после соответствующей обработки на поверхности газа, сходного по своим характеристикам с природным. При этом газ ПГУ может быть сырьем для получения синтез-газа, метанола, аммиака, карбамида и других ценных химических продуктов.

На базе проведенного исследования автором предлагаются следующие интересные научно обоснованные рекомендации:

Поскольку технология ПГУ откроет новые возможности в разработке угольных пластов со сложными горно-геологическими условиями залегания, целесообразно расширить объем научно-исследовательских и опытных работ по разработке и совершенствованию технологии ПГУ применительно к горно-геологическим и экологическим условиям Карагандинского бассейна, других уголь-

ных месторождений страны. Научно-исследовательским и проектным институтам республики, геологическим и эксплуатационным службам надо отобрать участки для подземной газификации угля и определить места заложения станций Подземгаз, подготовить технико-экономические обоснования их строительства, рассчитать затраты на научно-исследовательские работы и капиталовложения на развитие ПГУ.

Принимая во внимание важность проблемы перехода к ресурсосберегающим и безотходным технологиям, следует подумать над созданием в Казахстане на базе одного из ведущих НИИ (например, ИГД им. Д.А.Кунаева или ИПКОН НАН РК) координационного центра, который занимался бы вопросами, требующими решения для успешного внедрения ПГУ. Применение данного метода нужно рассматривать как технологию, которая пока неконкурентоспособна со сравнительно дешевыми нефтью и газом, но которая через определенный период обязательно будет востребована.

Десятая глава посвящена теоретическим и практическим результатам создания и внедрения новой технологии получения тепловой энергии при подземном сжигании угля. Отмечается, что теоретической основой технологии подземного сжигания угольных пластов (ПСУ), в отличие от технологии подземной газификации являются следующие положения:

- а) подготовка участка ПСУ блоками с размерами, обеспечивающими наибольшую полноту сгорания угля при использовании существующей топологии горных выработок;
- б) всасывающий способ подачи свежего воздуха в инициированный очаг горения с достижением минимально возможных температур газовой смеси на выходе из продуктивной скважины;
- в) скважинная подготовка пласта и подземное сжигание небольшого по площади блока с применением способов управления состоянием массива;
- г) прямое использование физического тепла продуктов горения угольного пласта непосредственно на поверхности обрабатываемого участка;
- д) подача свежего воздуха в очаг горения на большие (100 м и более) расстояния через обрушенные породы выработанного пространства;
- е) схема направленной подачи свежего воздуха в очаг горения и отвода горючих газов на поверхность.

Выполненным исследованием доказывается, что анализ состояния разработки тонких пластов в Карагандинском бассейне показывает необходимость промышленных испытаний нетрадиционных способов их разработки, в частности, принципиальной проверки в промышленных условиях технологии подземного сжигания угля (ПСУ), в приеме и распределении тепловой энергии на поверхности. Сейчас в Карагандинском бассейне запасы угля, оставленные на площадях отработанных и действующих шахт, исчисляются многими миллионами. Аналогичные проблемы характерны для разработки тонких пластов. В сложившихся условиях только технология ПСУ позволит вовлечь в топливно-энергетический баланс страны брошенные и непригодные к разработке традиционными способами запасы угля и преобразовать энергию сгоревшего угля в тепловую энергию воды непосредственно на промплощадке опытного участка.

В одиннадцатой главе описываются становление и развитие технологий глубокой переработки угля с получением синтетического жидкого топлива. На основе обстоятельного исследования автором делаются следующие выводы, имеющие теоретическую и практическую значимость:

1. На сегодняшний день в мировом энергетическом балансе доля синтетического жидкого топлива (СЖТ) еще невелика. Это связано не столько с технологическими трудностями, сколько с рядом экономических проблем. До настоящего времени внедрение проектов прямой (ожижение) и косвенной (газификация + синтез Фишера-Тропша) гидрогенизации угля сдерживалось правительством ряда стран, пока отмечалось снижение цен на нефть и нефтепродукты.
2. Тормозом к внедрению технологий гидрогенизации угля в промышленность также являются: высокое потребление водорода; многоступенчатость технологии и сложность аппаратного оформления; отсутствие собственной машиностроительной базы; невозможность использования в регионах с жесткими требованиями по экологической чистоте продуктов и производства.
3. Нельзя сбрасывать со счетов и то, что сложность технологии получения синтетических жидких топлив из угля определяется глубокими различиями в исходном сырье (нефть и уголь), в их химической природе.
4. Однако в последние годы в связи с ростом цен на нефть проявляется стремление многих стран осваивать свои природные ресурсы с тем, чтобы в будущем не зависеть от импорта нефти, что создает благоприятные условия для развития промышленного производства СЖТ. Надо иметь в виду

и то, что уже подготовлена реальная основа для внедрения новых технологий гидрогенизации угля в промышленность.

5. В Казахстане существующие тенденции в изменении цен и структуры энергоресурсов делают прогноз производства СЖТ достаточно оптимистичным. Намечаемые тенденции в изменении структуры энергоресурсов могут привести к тому, что процессы гидрогенизации угля будут играть не последнюю роль в энергобалансах ряда регионов республики в будущем. Правда, из-за отсутствия собственной машиностроительной базы отечественная технология гидрогенизации может развиваться по пути изучения опыта зарубежных разработок и создания совместных предприятий.

Значительный научно-практический интерес представляет двенадцатая глава книги, посвященная теоретическим основам скважинной геотехнологии добычи твердых полезных ископаемых и практическим рекомендациям по ее использованию.

В ходе исследования показывается, что скважинная гидродобыча полезных ископаемых — добыча твердых полезных ископаемых подземным способом, основанная на их гидравлическом или комбинированном разрушении, смешении с водой и выдаче гидросмеси на поверхность. С этой целью бурятся до подстилающих пород скважины диаметром 200–500 мм, через которые опускается добычное оборудование, обычно размещаемое в двух рядом расположенных скважинах. В одной из них помещается водовод с гидромонитором, струей которого производится размыв полезного ископаемого и его подгон к всасывающему устройству. В другой скважине находится подъемное оборудование (гидроэлеватор, эрлифт или погружной грунтовый насос), с помощью которого полезное ископаемое выдается на поверхность.

Указывается, что особенностью СГД (скважинной гидродобычи), как нового развивающегося направления, является большое разнообразие систем и способов выемки полезного ископаемого. Анализ данных показывает, что наиболее эффективна отработка месторождений камерными системами, с поддержанием открытой, необводненной камеры, позволяющими управлять сдвижением и горным давлением путем оставления целиков, закладкой выработанного пространства, плавным опусканием кровли и обрушением налегающих пород.

Обосновывается, что предприятия СГД менее энерго- и капиталоемки, сооружаются в более короткие сроки. Следовательно, являются более конкурентоспособными в удаленных и экономически слабо освоенных районах по сравнению с предприятиями, применяющими традиционную технологию. Применение способа СГД позволяет избежать многих негативных экологических последствий. Эта технология добычи практически безотходна, экологически безвредна, не требует значительного отвода земель под промышленное строительство. К настоящему моменту созданы необходимые предпосылки для обеспечения рационального природопользования при СГД с точки зрения мониторинга, и, несомненно, в ближайшее время мы будем свидетелями появления новых разработок в этой быстроразвивающейся области горной технологии.

По мнению автора работы, с чем следует согласиться, технологию СГД нужно рассматривать как важное приоритетное направление государственной инвестиционной политики, позволяющее в короткие сроки обеспечить прогрессивные структурные преобразования в промышленности Казахстана и обеспечить дальнейший экономический рост без ущерба экологическим системам. Важно помнить о том, что СГД — это горная технология будущего, но не далекого, а близкого, что будет зависеть от принятия правильных решений и их реализации в свете установок Стратегического плана развития Республики Казахстан до 2020 г.

В тринадцатой главе раскрываются физико-химические и социально-экономические основы геотехнологических процессов выщелачивания.

В процессе исследования автором вскрыты тенденции и закономерности.

- За последние 10–15 лет (особенно начиная с 1999 г.) в Казахстане весьма быстрыми темпами наращивались объемы подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) урана и сопутствующих ему редких элементов (рений, осмий и др.). В этой связи был придан мощный импульс развитию горных наук в Казахстане в области геотехнологии металлов. К настоящему времени в республике создается самостоятельная школа ученых-геотехнологов ПСВ металлов. Был проведен ряд международных научных конференций по проблемам геотехнологии урана с участием ведущих стран по его добыче (Франция, Австралия, Канада, Россия, Узбекистан и др.).

- Как следствие, основой разработки и внедрения в практику уранодобычи метода подземного скважинного выщелачивания явились достижения в области геологоразведки и промышленной оценки, эпиге-

нетических месторождений региональных зон пластового и грунтового окисления, достижения в области гидродинамики, геохимии, гидрометаллургии.

- Успешное решение комплекса технических проблем первых этапов освоения метода подземного выщелачивания урана было связано с разработкой и внедрением специальных технических средств и технологий сооружений и эксплуатации скважин, контрольно-измерительной аппаратуры, а также с разработкой и промышленным освоением в гидрометаллургии урана сорбционной технологии с использованием сильноосновных анионитов.

- За прошедшие годы коллективами казахстанских уранодобывающих предприятий была проделана большая работа по совершенствованию технологии добычи урана, повышению производительности труда, снижению себестоимости продукции, автоматизации производственных процессов. Значительная работа проделана в области бурения и оборудования скважины, совершенствования средств подъема продуктивных растворов, аппаратов сорбционного их передела.

- В результате указанных выше целенаправленных мер Казахстан, обладая значительными коммерческими запасами (18 % разведанных и 25 % прогнозируемых мировых), в настоящее время занимает второе место по разведанным запасам урана и первое место — по его производству.

По данным [2; 21], НАК «Казатомпром» общие запасы урана 129 месторождений и рудопроявлений, объединенных в шесть урановых областей (Прибалхашская, Прикаспийская, Илийская, Северо-Казахстанская, Сырдаринская, Шу-Сарысуйская), оценивает в 1690 тыс. т и выдвигает республику на первое место в мире по этому показателю.

Заключительная, четырнадцатая глава книги посвящена вопросам экономико-математического моделирования геотехнологических процессов. В частности, на примере угольной отрасли рассматриваются методические основы применения логистических функций для фундаментальных исследований в области освоения новых горных технологий.

Обобщая сказанное выше, нам бы особо хотелось отметить своевременность выхода в свет такого фундаментального научного труда. Монография содержит весь необходимый материал для ознакомления с теорией и практикой геотехнологических методов добычи полезных ископаемых. Материал книги удачно структурирован и необходим для специалистов, преподавателей, магистрантов и студентов, интересующихся современными технологиями добычи и переработки полезных ископаемых.

Автор монографии, накопивший опыт исследования и внедрения новой инновационной технологии и представивший свои многолетние исследования в таком классическом издании, заслуживает глубокой признательности всей научной общественности страны за вклад в развитие отечественного горного дела.

#### Список литературы

1. Каренов Р.С. Эколого-экономическая и социальная эффективность геотехнологических методов добычи полезных ископаемых. — Караганда: Изд-во КарГУ, 2011. — 366 с.
2. Алишанов Р. Экономика Казахстана за 20 лет: минерально-сырьевой комплекс // Казахстанская правда. — 2011. — 14 окт. — С. 20–21.