

Рыльникова Марина Владимировна

доктор технических наук, профессор,
И.о. зав. научным отделом
Институт проблем комплексного
освоения недр РАН,
111020 Москва, Крюковский туп., д. 4
e-mail: rylnikova@mail.ru

Радченко Дмитрий Николаевич

кандидат технических наук, доцент,
старший научный сотрудник
отдела теории проектирования
освоения недр,
Институт проблем комплексного
освоения недр РАН

**РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННЫХ
ГЕОТЕХНОЛОГИЙ ПОЛНОГО ЦИКЛА
КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ МЕСТО-
РОЖДЕНИЙ С ФОРМИРОВАНИЕМ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ
ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО
СЫРЬЯ***

Аннотация:

Рассмотрены задачи исследований в области проектирования горнотехнических систем комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых. Показаны пути решения проблемы управления качеством природного и техногенного сырья на базе сочетания геотехнологий. Приведены результаты опытно-промышленных и конструкторских работ, в ходе которых подтверждена эффективность и экономическая целесообразность реализации полного цикла комплексного освоения рудных месторождений

Ключевые слова: Комплексное освоение недр, полный цикл, комбинированные геотехнологии, извлечение, отходы, утилизация, управление качеством, минерально-сырьевые потоки

Rilnikova Marina V.

doctor of technical sciences, professor,
acting manager of scientific department
The Institute of problems of integrated mineral re-
sources mining RAS,
111020, Moscow, Krjukovsky blind alley 4.
e-mail: rylnikova@mail.ru

Radchenko Dmitry N.

candidate of technical sciences,
senior research worker
of the department of the theory
of designing mineral resources mining RAS

**DEVELOPMENT OF COMBINED MINING
TECHNOLOGIES FOR FULL CYCLE OF
COMPREHENSIVE EXPLOITATION MIN-
ERAL RESOURCES' DEPOSITS WITH MIN-
ERAL MATERIAL FLOWS MANAGEMENT
SYSTEMS**

Abstract:

The problems of researches in the field of mining systems designing the comprehensive solid mineral deposits exploitation are considered. The ways of solving the problem of management the quality of natural and man-made raw material on the basis of combination different mining procedures are cited.. Industrial and design tests' results are adduced that confirm the efficiency and economic expediency of realization the full cycle of ore deposits comprehensive exploitation

Key words: Comprehensive exploitation, full cycle, combined mining geo-technology, extraction, wastes, utbilization, quality management, mineral raw material flows

Цикл производства продукции горнодобывающего и перерабатывающего комплекса характеризуется сложными логистическими схемами, тем более емкими, чем больше технологических операций задействовано в ходе добычи и переработки руд. Традиционно цикл разработки месторождений описывается алгоритмами, основанными на обосновании решений по извлечению запасов из недр в виде рудопотоков, их доставки на усреднительные склады либо непосредственно на обогатительные фабрики, переработки с получением концентратов и отвальных хвостов. При сочетании открытых и подземных геотехнологий, получивших широкое развитие в конце 20-го века под названием «комбинированные геотехнологии», логистическая цепочка цикла «добыча – переработка руды» принципиально не меняется. Добываемая в карьере и в подземном руднике

* Исследования выполняются при поддержке РФФИ (грант №12-05-00374_a)

руда, как правило, на определенном этапе объединяется в единый рудопоток и перерабатывается по наиболее рациональным схемам обогащения. Данный подход к проектированию горнотехнических систем является известным и общепринятым.

При этом сложность решения проблем образования и накопления отходов горно-перерабатывающих производств связана с ухудшением экологической ситуации во всех горнопромышленных регионах и актуальна во всем мире. Очевидно, что к негативным последствиям для окружающей среды и социума приводят не ошибки, допускаемые недروльзователями в ходе эксплуатации участка недр, а ошибки, допущенные на стадии проектирования того или иного горного предприятия. Причем речь идет не об единичных случаях принятия неверных проектных решений, а о глобальном системном кризисе существующих подходов к проектированию горнодобывающих предприятий. Мировой практикой исследований в области проектирования систем различного уровня доказано: несмотря на то что на предпроектной стадии расходуется лишь 1 % затрат на разработку месторождения, эти проектные решения влекут за собой до 70 % дополнительных расходов на функционирование горного предприятия в течение всего жизненного цикла из-за погрешности проектных решений. Ошибочные решения, заложенные на стадии рабочего проектирования, затраты на которые составляют до 7 % от затрат на разработку месторождения, приводят к дополнительным расходам до 85 % от суммарных затрат всего жизненного цикла предприятия (Э. Ловинс, 1999; П. Стасинопулос, 2012). Таким образом, функционирование действующих горных предприятий на основе принятых и известных принципов проектирования будет продолжать характеризоваться усилением негативных последствий для природы и общества до тех пор, пока не будут изменены подходы к проектированию горнотехнических систем.

До настоящего времени в мировой практике не найдено решений, являющихся конкурентоспособными традиционному циклу «добыча – переработка руды». В результате, несмотря на многочисленные исследования в области горного дела, принципы полноты и комплексности освоения месторождений твердых полезных ископаемых в полной мере не реализованы ни на одном месторождении.

Также на горных предприятиях весьма остро стоит проблема управления качеством добываемого природного и техногенного сырья при разработке месторождений твердых полезных ископаемых. Известно, что изменение среднего содержания металла в руде на 1 – 2 % приводит к увеличению затрат на производство концентрата при обогащении руд цветных металлов на 10 – 20 %. В связи с ухудшением качества добываемых руд в настоящее время большинству горнодобывающих предприятий весьма сложно обеспечить требуемые показатели качества товарной продукции. Для стабилизации качественных характеристик рудопотоков дополнительные затраты горнодобывающих предприятий составляют 10 – 30 % себестоимости. Несмотря на комплексный подход к разработке месторождений, принятые в проектах горных предприятий системы управления качеством добываемых руд создаются применительно к одному способу разработки.

Например, на открытых горных работах в последние годы используются современные информационные системы, программные и аппаратные комплексы, направленные, в первую очередь, на решение таких задач, как прогнозирование содержания полезных компонентов на конкретном участке, учет в режиме реального времени показателей работы погрузочного и транспортного оборудования, изменений объемов и качества подготавливаемых, отбитых и извлеченных запасов.

При подземной добыче руд применяют комплексные системы, направленные на стабилизацию качественного состава руд, извлекаемых из разных участков месторождения, используют процессы сепарации, усреднения с применением современных комплексов радиометрического, рентгенорадиометрического, люминесцентного и другого оборудования и т. п. При этом отсутствуют единые системы управления качеством рудопотоков при сочетании открытых и подземных геотехнологий, нет комплексных решений

вопросов формирования и управления качеством потоков минерального сырья при сочетании физико-технических и физико-химических геотехнологий.

До настоящего времени не решен вопрос комбинирования геотехнологий добычи руд и эксплуатации техногенных образований на осваиваемом участке недр. Также до сих пор не решен вопрос с техногенными отходами при складировании их в хранилища для безопасного хранения без потери технологических свойств техногенного сырья и эксплуатации в будущем.

Поэтому повышение качественных характеристик продукции горно-обогатительных предприятий, вплоть до получения металлов и их соединений высокой чистоты, является одним из наиболее продуктивных путей для всемерного роста экономической эффективности наиболее значимой для Российской Федерации отрасли экономики – горнодобывающей промышленности.

Для комплексного, экологически безопасного освоения месторождений полезных ископаемых необходимо проектирование и реализация горнотехнических систем как единого комплекса с полным циклом освоения недр на базе комбинации различных геотехнологий. Необходимо подчеркнуть, что концепция комплексного освоения месторождений полезных ископаемых предусматривает сочетание геотехнологий не только и не столько в пределах единого технологического пространства. В полном цикле комплексного освоения недр следует наиболее эффективно сочетать геотехнологии и отдельные геотехнологические решения на осваиваемом участке недр с целью максимально возможного извлечения запасов из недр и ценных компонентов из вещества при разработке запасов руд и техногенного сырья с обязательной утилизацией конечных отходов в выработанном пространстве рудников. В такой постановке задача комплексного освоения месторождений полезных ископаемых должна решаться путем создания принципиально новых систем управления качеством минеральных потоков природного и техногенного сырья в ходе их формирования, перемещения, техногенного преобразования и утилизации в выработанном пространстве карьеров и шахт.

Вместе с тем следует констатировать, что до настоящего времени не выявлена взаимосвязь качественных характеристик добываемого природного и техногенного сырья и их влияния на масштабы добычи и извлечения полезных ископаемых. Не создано комплексных систем управления качеством потоков природного и техногенного минерального сырья при сочетании геотехнологий – открытых, подземных, открыто-подземных, физико-химических, специальных (например, гидродобыча, выбуривание скважин большого диаметра и т.п.). Очевидно, что такие зависимости должны быть установлены как в виде наиболее общих закономерностей, так и с определенной долей детализации для конкретных видов полезных ископаемых, месторождений, залежей и т.п.

Установленные взаимосвязи будут способствовать разработке комбинированных геотехнологий полного цикла комплексного освоения месторождений с наиболее полным извлечением полезных ископаемых из недр и ценных компонентов из вещества на основе эффективного управления качеством минеральных потоков природного и техногенного сырья в ходе их формирования, перемещения, техногенного преобразования и утилизации в выработанном пространстве карьеров и шахт. Весьма актуальным представляется создание комплексной системы управления качеством добываемого природного и сопутствующего техногенного сырья в изменяющихся масштабах добычи руд на горных предприятиях. Для решения этой проблемы требуется проведение прикладных научных исследований, направленных на формирование научно-технологического задела для выполнения опытно-конструкторских и опытно-технологических работ и промышленного внедрения результатов на горных предприятиях.

Для реализации указанной концепции комплексного освоения месторождений полезных ископаемых в Отделе теории проектирования освоения недр ИПКОН РАН предусмотрено выполнение следующих работ:

- выполнение аналитических обзоров в области управления качеством природного и техногенного минерального сырья;
- факторный анализ условий формирования необходимых по объему и качеству потоков природного и техногенного минерального сырья при комплексном освоении рудных месторождений комбинированными геотехнологиями в полном цикле;
- установление закономерностей формирования технологических свойств и качества минеральных потоков природного и техногенного сырья, что является исходными данными для моделирования полного цикла комплексного освоения месторождений комбинированными геотехнологиями в различных горно-геологических и горнотехнических условиях. Разработка рекомендаций по определению рациональных параметров рудничных минерально-сырьевых потоков;
- установление параметров различных процессов извлечения из металлсодержащего сырья цветных (кобальт, никель) и благородных (золото, серебро) металлов, ранее не извлекаемых в цикле «добыча – обогащение многокомпонентных руд»;
- подготовка базы исходных данных для построения исследовательской модели, предназначенной для имитационного моделирования технологий формирования, перемещения, техногенного преобразования потоков природного и техногенного минерального сырья в полном цикле комплексного освоения месторождений;
- разработка алгоритмов и математических моделей функционирования горнотехнических систем, реализующих полный цикл комплексного освоения месторождения многокомпонентных руд и предусматривающих формирование требуемых технологических свойств природного и техногенного сырья;
- создание исследовательских инструментов (имитационных моделей), обеспечивающих изучение принципов взаимосвязи качественных и количественных показателей потоков природного и техногенного сырья с параметрами технологических процессов, реализующих комбинированные геотехнологии в полном цикле комплексного освоения месторождений;
- анализ результатов имитационного моделирования полного цикла комплексного освоения месторождений комбинированными геотехнологиями с установлением закономерностей формирования количественных и качественных показателей потоков природного и техногенного сырья и их взаимосвязи с параметрами комбинированных геотехнологий извлечения черных, цветных и благородных металлов и получением новых видов товарной продукции;
- разработка комбинированных геотехнологий полного цикла комплексного освоения месторождений многокомпонентных руд;
- формирование концепции проектирования горнодобывающих предприятий с применением комбинированных геотехнологий полного цикла комплексного освоения месторождений полезных ископаемых, основанной на управляемом обращении минерального вещества с момента геологической разведки и установления требований к качеству руд и техногенного сырья до конечной стадии – получения товарной продукции широкого спектра черных, цветных и благородных металлов и воссоздания осваиваемого участка недр с формированием его новых полезных свойств.

В ходе теоретических расчетов доказано, что горнотехнические системы с полным циклом характеризуются особыми качественно-количественными параметрами, установление которых требует обоснования соответствующей структуры горнотехнической системы, ее производственной мощности, условий реализации специфических технологических процессов для достижения эффекта полного цикла. Доказано, что такие горнотехнические системы отличаются интенсивностью эксплуатации природного и техногенного сырья, используемого в различные временные периоды. Установление указанных отличий базируется на выявлении закономерностей изменения параметров отдельных процессов в их взаимосвязи. Разработка в Отделе теории проектирования освоения недр ИПКОН РАН методики обоснования параметров горнотехнических систем с

полным циклом комплексного освоения рудных месторождений позволила создать фундаментальную научную базу, которая в ходе дальнейшего развития стала весомым заделом для проектирования горных предприятий будущего.

Научным сообществом признано, что выполнение исследований по тематике полного цикла придает новое качество комплексному освоению месторождений полезных ископаемых в его современном понимании. Вместе с тем до настоящего времени не дано прикладного выхода разработанным принципам.

В настоящее время данная концепция адаптируется к условиям отработки Юбилейного месторождения медно-колчеданных руд комбинированной геотехнологией в полном цикле. Предусмотрена разработка технологического регламента на опытно-промышленную апробацию перехода к отработке медно-колчеданных руд комбинированной геотехнологией и отработкой техногенных образований, формирующихся при разработке Юбилейного месторождения.

Кроме того, разрабатываются проектные решения по вовлечению в эксплуатацию запасов природного и техногенного минерального сырья в полном цикле комплексного освоения перспективных месторождений Урала: Ново-Учалинского, Дергамышского, а также Октябрьского.

При этом будут обоснованы технические требования на новые виды металлсодержащих продуктов, пригодных для последующей металлургической переработки – концентратов черных (железа), цветных (кобальт, никель) и благородных (золото, серебро) металлов.

Реализация полного цикла комплексного освоения недр неразрывно связана с утилизацией отходов добычи и переработки руд. Для утилизации пород вскрыши и от проходки горных выработок разработаны решения по производству закладочных смесей с применением закладочных комплексов модульного типа (рис. 1).

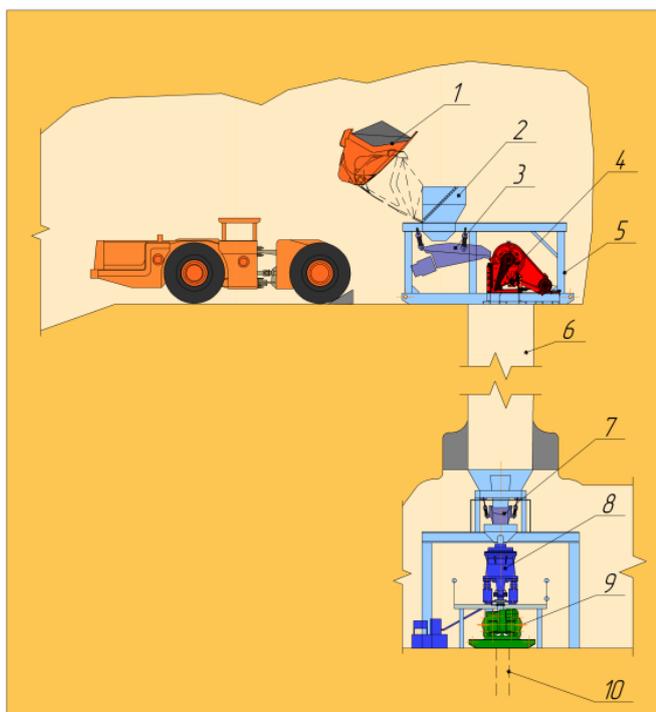


Рис. 1 – Вариант компоновки оборудования подземного передвижного закладочного комплекса модульного типа:

1 – ПДМ; 2 – бункер-дозатор; 3 – питатель; 4 – дезинтеграция 1-й стадии;
5 – рама модуля I стадии дезинтеграции; 6 – породоспуск; 7 – питатель; 8 – дезинтеграция 2-й стадии;
9 – смеситель; 10 – закладочная скважина

Широкий интерес горных предприятий к проведению этих исследований обусловлен тем, что внедрение технологии с передвижными комплексами оборудования и приближение их к местам ведения подземных горных работ обеспечивает сокращение расхода энергии и материалов на приготовление твердеющей закладочной смеси, уменьшение срока заполнения пустот и повышение прочности закладочного массива. Инновационная технология способствует коренной модернизации горнодобывающей отрасли и расширению отечественной минерально-сырьевой базы за счет повышения полноты извлечения запасов из недр, ресурсосбережения при разработке действующих месторождений и вовлечения в эксплуатацию новых, эффективная отработка которых ранее была невозможна [1].

Определено, что срок окупаемости технологии составляет 4 года, средний индекс прибыльности инвестиций равен 3; внутренняя ставка доходности 77 и 93 %, чистый дисконтированный доход составляет 1798 и 2496 млн руб., соответственно, для поверхностного и подземного вариантов размещения закладочных комплексов.

Параметры модульной технологии закладки выработанного пространства с использованием передвижного оборудования используются при обосновании полного цикла комбинированных геотехнологий на базе имитационного моделирования.

Кроме того, весомым заделом является цикл работ «Разработка и крупномасштабное промышленное внедрение ресурсопроизводящих экологически сбалансированных геотехнологий комплексного освоения месторождений Курской магнитной аномалии», выполнение которых осуществлялось сотрудниками ИПКОН РАН с середины 80-х годов и завершено в 2013 г. Практическая промышленная реализация результатов на комбинате «КМАруда» осуществлялась по мере их получения, основной объем внедрения пришелся на 2009 – 2013 гг. В ходе реализации технологии контролировалось состояние массива, полнота заполнения выработанного пространства, уровни понижения воды в заполняемых гидравлической закладкой камерах (рис. 2).

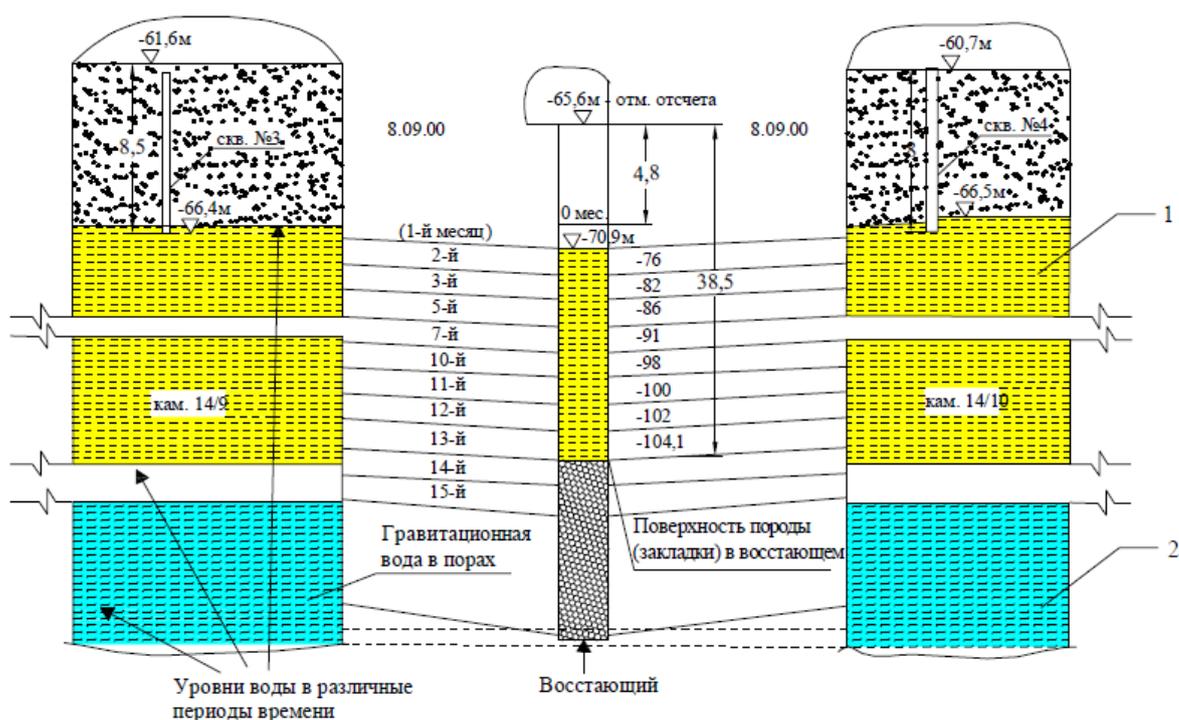


Рис. 2 - Уровни понижения воды в осушаемых камерах и восстающем:

- 1 – осушенный закладочный массив с влажностью <math>< 15 - 25\%</math>;
- 2 – неосушенный закладочный массив с влажностью $> 20 - 25\%$, в порах есть вода

В этих работах впервые на новой методологической основе создана теоретическая база стратегии комплексного освоения месторождений КМА ресурсовоспроизводящими экологически сбалансированными геотехнологиями с формированием в выработанном пространстве недр консолидированных природно-техногенных образований и обеспечением условий для их перспективного освоения (рис. 3) [2].



Рис. 3 - Осушенный закладочный массив:
 а – трещина у борта камеры; б – вертикальный срез просевшего массива;
 участок В – наиболее тонкие верхние слои почти без железосодержащих хвостов;
 участок С – с железосодержащими частицами

Геотехнологии адаптированы к условиям действующих крупнейших комбинатов - КМАруда, Лебединского, Стойленского, Михайловского. На основе многолетних геомеханических, технологических и технико-экономических исследований дано кардинальное решение проблемы утилизации в подземном пространстве всех образующихся отходов переработки руд с замкнутым оборотным водоснабжением горного предприятия (рис. 4). Формируемые из твердых отходов техногенные массивы становятся элементами горнотехнических систем эксплуатации месторождений и служат для повышения устойчивости и несущей способности ограждающих конструкций, сохранения георесурсов для перспективного вовлечения их в промышленную эксплуатацию.

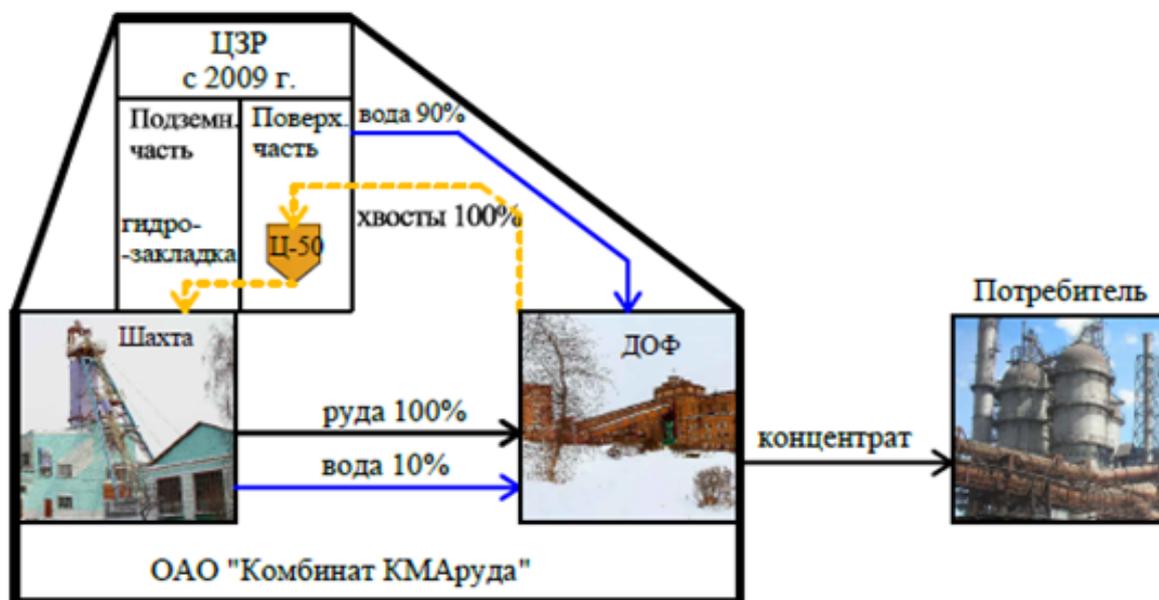


Рис. 4 – Технологическая схема утилизации хвостов обогащения в выработанном пространстве подземного рудника с замкнутым водоснабжением горного предприятия (ОАО «Комбинат КМАруда»)

Необходимость постановки и решения такой проблемы связана с тем, что преимущественно открытая разработка месторождений КМА привела к изъятию из сельскохозяйственного оборота сотен квадратных километров уникальных по ресурсной ценности плодородных земель, нарушению вследствие пыления, эрозии, природного выщелачивания, почв и водных ресурсов, загрязнению воздушной среды огромных территорий центральных регионов России. Поэтому для обеспечения эффективности и экологической безопасности освоения железорудных месторождений региона всемирной природно-ресурсной значимости обоснованы коренные изменения геотехнологий освоения месторождений КМА с переходом на безотходный подземный способ добычи руд, которые получили крупномасштабное промышленное внедрение.

Использование результатов исследований и включение концепции комплексного освоения недр в нормы и практику проектирования горнотехнических систем будет способствовать расширению минерально-сырьевой базы действующих горно-обогатительных предприятий и вовлечению в разработку новых месторождений, ранее не перспективных ввиду неэффективности добычи сырья традиционными способами.

Литература

1. Передвижные закладочные комплексы в системах разработки рудных месторождений с закладкой выработанных пространств / Д.Р. Каплунов и др. // Горный журнал. - 2013. - № 2. – С. 101-104.
2. Ресурсовоспроизводящая безотходная геотехнология комплексного освоения месторождений Курской магнитной аномалии / С.Г. Лейзерович и др.; под ред. Д.Р. Каплунова. - М.: Горная книга, 2012. - 547 с.