

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТРАТЕГИИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ГОРНТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ОСВОЕНИИ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В. Л. Яковлев

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург, Россия

Аннотация: Целью статьи является привлечение внимания научно-технической горной обществу в проводимым в Институте горного дела УрО РАН исследованиям по обоснованию необходимости развития методологии комплексного освоения георесурсов при разработке мероприятий по реализации «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года», утвержденной Распоряжением Правительства РФ от 22 декабря 2018 г. №2914-Р «как основы для формирования и реализации государственной политики в области геологического изучения недр, воспроизводства и использования минерально-сырьевой базы на федеральном и региональном уровнях, а также для разработки государственной программы Российской Федерации». Месторождения и горные предприятия по их разработке являются сложными многофакторными горно-технологическими комплексами, развивающимися в течение длительного времени (20–25 и более лет), они характеризуются как объекты исследования с большим массивом множественной информации (геологической, геометрической, экологической, технической, технологической, экономической), находящейся в сложной взаимосвязи, что предопределяет необходимость периодического поэтапного пересмотра ранее принятых при проектировании и эксплуатации решений на основе исследования переходных процессов с целью адаптации горнотехнической системы предприятия к изменяющимся условиям его функционирования. Особо сложно осваивать глубокозалегающие сложноструктурные месторождения, когда в связи с нарастанием объема информации о геологических параметрах залежей полезных ископаемых и вмещающих пород и с ростом глубины требуется уточнять кондиции и пересчитывать запасы, изменять границы поэтапной разработки, переходить на новые технологии добычи и переработки минерального сырья. Дальнейшие исследования по теме госзадания связаны с обоснованием технических, технологических и организационных мероприятий, связанных с реализацией рекомендуемых инновационных решений, касающихся адаптации горнотехнических систем горных предприятий при освоении запасов глубокозалегающих сложноструктурных месторождений. Методологические результаты исследований предложено учитывать в качестве научного сопровождения при разработке и реализации «Стратегии развития минерально-сырьевой базы РФ на период до 2030–2050 гг.».

Ключевые слова: методологические основы, стратегия развития, глубокозалегающие месторождения, горнотехнические системы, твердые полезные ископаемые, переходные процессы.

Благодарность: Статья подготовлена на основе результатов исследований по Госзаданию 075-01039-20-00, тема № 0405-2019-005 «Методы учета переходных процессов технологического развития при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений полезных» (2019–2021 гг.).

Для цитирования: Яковлев В. Л. Методологические основы стратегии инновационного развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5–1. – С. 6–18. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_6.

Methodological framework of the strategy for innovative development of mining systems for deep-seated mineral deposits

V. L. Yakovlev

Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract: The aim of the article is to attract attention of the scientific and technological community to the research undertaken at the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences to develop the methodology of integrated geo-resources management towards the implementation of the Mineral Reserves and Resources Strategy of Russia up to 2035, approved by the Government of the Russian Federation, Decree No. 2914-R dated 22 December 2018 No. 2914-R “as the governmental policy framework in the sphere of geological exploration, reproduction and use of mineral resources on regional and national scales, and for the government program development of the Russian Federation”. Mineral deposits and mines are the complex multi-factor technological systems which feature long-term progression (20–25 years or more) and represent the test subjects described with growing amounts of intricately interrelated data on geology, geometry, ecology, equipment, technology and economy. This predetermines the periodic step-by-step revision of the previously made design and operation decisions based on the study of transient processes in order to adapt a geotechnical system accepted by the mine to the varying mining conditions. It is particularly difficult to develop deep-seated deposits of complex structure. In this case, the increasing amount of information on geological parameters of mineral deposits and host rocks with growing mining depth necessitates updating of mineral quality standards and appraisals, adjustment of phased operation boundaries and transition to novel mineral mining and processing technologies. The further research on the topic under the state contract is connected with the justification of engineering, technological and organizational arrangements towards the implementation of recommended innovative solutions on adaptability of geotechnical systems of mines operating in the conditions of deep-seated and complex-structure deposits. The resultant methodologies are proposed to be taken as the scientific basis during development and implementation of the Mineral Reserves and Resources Strategy of Russia over the Period from 2030 to 2050.

Key words: methodological framework, development strategy, deep-seated deposits, geotechnical systems, solid minerals, transient processes.

Acknowledgements: The study is based on the research results obtained under State Contract No. 075-01039-20-00, Topic No. 0405-2019-005: Methods to Take into Account Transient Technological Processes in Mining Deep-Sated Mineral Deposits of Complex Structure (2019–2021).

For citation: Yakovlev V. L. Methodological framework of the strategy for innovative development of mining systems for deep-seated mineral deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5–1):6–18. [In Russ.]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_6.

Актуальность проблемы

Проблемы развития минерально-сырьевой базы и комплексного освоения запасов месторождений полезных ископаемых всегда находились в центре внимания научно-технической

общественности России [1–4] и ряда других горнодобывающих стран [5–8], однако их решение стало особенно актуальным в условиях глобализации и перехода от плановой экономики к рыночной.

Наличие минеральных ресурсов в недрах является одним из важнейших конкурентных преимуществ российской экономики, определяющим гарантированное обеспечение экономической безопасности страны за счет минерально-сырьевого потенциала путем создания надежной минерально-сырьевой базы для удовлетворения текущих и перспективных потребностей с учетом экологических, социальных, демографических, оборонных и других факторов.

За последние годы в России, в том числе в связи с распадом СССР и переходом от плановой экономики к рыночной, произошло значительное истощение запасов большинства разведанных месторождений с благоприятными горно-геологическими и горно-техническими условиями.

Отработаны наиболее богатые по содержанию полезных ископаемых месторождения и залежи, расположенные в относительной близости к поверхности Земли, а также верхние горизонты глубокозалегающих месторождений.

В ближайшие годы глубина большей части карьеров превысит 400 – 500 м. Возникает необходимость вскрытия и обработки запасов глубоких горизонтов эксплуатируемых месторождений и переход с открытой на подземную или комбинированную геотехнологию.

Переход России на новый технологический уклад связан с созданием новых технологий добычи и переработки полезных ископаемых, а также освоением более бедных месторождений, в том числе в регионах с неразвитой инфраструктурой.

По объемам добычи минерального сырья (около 90 %), технической оснащенности и технологическому уровню глубокие рудные карьеры и угольные разрезы составляют основу горнодобывающих отраслей промышленности

России, и в среднесрочной перспективе открытый способ разработки сохранит свои позиции. При освоении запасов ниже эффективной глубины карьеров требуется переход с открытой на подземную или комбинированную геотехнологию.

История развития открытых разработок в современном их представлении на комплексно-механизированных карьерах, методов их проектирования и научных исследований различных проблем и аспектов ведения горных работ позволяет утверждать, что в связи с разнообразием месторождений полезных ископаемых по составу, характеристике и запасам минерального сырья, географическим, природно-климатическим, социально-экономическим и иным особенностям регионов расположения месторождений, единых подходов и типовых решений проблем их освоения быть не может.

Это связано с особенностями освоения запасов полезных ископаемых:

- разнообразием природных условий разработки одноименных видов минерального сырья;
- высокой изменчивостью геологических параметров в пределах одного месторождения;
- многообразием альтернативных способов обеспечения заданного объема продукции;
- нарастанием объема геологической информации о месторождении по мере его освоения и необходимостью изменения параметров горнотехнической системы предприятия, принятых при проектировании в условиях неопределенности.

Методология проведения работы

Уникальной особенностью инновационного развития горнотехнических систем является определяющая зависимость технико-экономических

показателей их функционирования от горно-геологических и физико-географических условий месторождений полезных ископаемых.

Рост глубины разработки, уменьшение среднего содержания главных полезных компонентов в добываемом сырье, опережающий рост извлекаемых из недр объемов горной массы по сравнению с ростом объемов конечной продукции объективно связаны с увеличением затрат на добычу и переработку минерального сырья, которое может быть компенсировано повышением комплексности использования минеральных ресурсов и увеличением коэффициента извлечения полезных ископаемых из недр и попутных компонентов при обогащении на основе создания и применения инновационных технологий горного производства.

Специфика разработки глубокозалегающих сложноструктурных месторождений состоит в том, что по мере развития горных работ уточняются геологические параметры, качественный состав, мощность и элементы залегания полезного ископаемого, физико-механические свойства горных пород, что требует периодического поэтапного изменения технических и технологических параметров горных работ с учетом взаимосвязей технологических процессов горного производства с целью повышения эффективности функционирования горной системы предприятия.

Учитывая, что в процессе геологического изучения недр выявление новых месторождений качественных руд (марганец, хром, титан, бокситы, оптическое сырье и другие) становится все более сложным и маловероятным, минимизировать зависимость от импорта минерального сырья возможно за счет освоения месторождений руд низкого качества или месторождений, расположенных в удаленных

районах страны с неразвитой инфраструктурой (северные районы Урала и Сибири, Якутия и Дальний Восток), требуется принципиально новый подход к выработке стратегии формирования горно-промышленных комплексов, основанный, во-первых, на создании производственной инфраструктуры, включающей источники энергии, водоснабжения, ремонтные базы, объекты социальной сферы, транспортные взаимосвязи с поставщиками и потребителями продукции. Во-вторых, требуется создание новых технологий добычи, переработки, обогащения и комплексного извлечения полезных ископаемых с использованием оборудования, отвечающего природно-климатическим условиям территорий осваиваемых месторождений и формируемых минерально-сырьевых центров.

Научно-технологическое обеспечение стратегии развития минерально-сырьевой базы требует разработки современных геолого-экономических методик переоценки запасов полезных ископаемых на основе рыночных требований, что возможно лишь при участии геологов, геохимиков, горняков, экономистов, и разработки технологий, направленных на увеличение коэффициентов извлечения минерального сырья и сокращение его потерь при добыче и переработке.

В методологическом плане следует учесть специфику подхода к разработке стратегии дальнейшего развития горнотехнических систем действующих горнодобывающих предприятий, когда при принятии решения о целесообразности освоения запасов минерального сырья конкретного месторождения на основе данных геологического отчета в проекте были определены способ разработки, производственная мощность предприятия, параметры схемы вскрытия и системы разработки,

оборудования основных технологических процессов горного производства, которые на последующих этапах строительства и эксплуатации могут существенно изменяться.

Практика эксплуатации глубоких рудных карьеров показала, что углы погашения бортов карьеров по условиям устойчивости, как правило, круче их конструктивных значений, проблема дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок, объемы которого могут достигать на глубоких карьерах десятков миллионов кубометров вскрывных пород, в значительной степени зависит от величины руководящего уклона, который, в свою очередь, определяется параметрами транспортной системы карьера.

Результаты исследований

В ИГД УрО РАН разработан способ проведения крутонаклонных траншей для автотранспортных средств, способных преодолевать крутые уклоны, что позволяет уменьшить объем работ и затраты, сократить расстояние перевозки горной массы, уменьшить размеры дна и увеличить глубину карьера без дополнительного разноса бортов.

Другим способом повышения эффективности освоения глубокозалегающих месторождений является регулирование режима вскрывных работ при поэтапной разработке месторождений с применением временно нерабочих бортов.

Уменьшение ширины рабочих площадок до минимально необходимой для транспортных берм или берм безопасности позволяет осуществить сдвиг на более поздние сроки выполнение объемов вскрывных работ (для карьеров глубиной 600 м — от 30 до 45 %) [9].

Одним из сложнейших этапов в развитии горнотехнической системы при освоении запасов полезных иско-

паемых глубокозалегающих сложноструктурных месторождений является переход с открытой к комбинированной разработке.

В ИГД УрО РАН разработан метод структурно-функционального анализа горнотехнической системы освоения переходной зоны при комбинированной разработке глубокозалегающих сложноструктурных железорудных месторождений, реализующий методологический подход в исследовании переходных процессов, позволяющий прогнозировать состояние горнотехнической системы при изменении действующих в переходный период постоянных и специфических факторов. Предложены комбинированные геотехнологии, основанные на камерной выемке и использовании энергоэффективных подземных комплексов самоходных машин, карьерного оборудования и транспортных коммуникаций, позволяющие по сравнению с традиционной подземной геотехнологией повысить показатели полноты и качества извлечения руды из недр (в 1,2—1,7 раза), увеличить производительность труда по системе разработки (на 20—30 %), утилизировать пустые породы как в карьерном, так и в подземном выработанном пространстве [10, 11].

Одной из важнейших характеристик предложенного метода выбора параметров комбинированной геотехнологии является использование наряду с энергоэффективными подземными комплексами самоходных машин, оборудования и коммуникаций транспортной системы карьера.

Разработанные и опубликованные [12] теоретические основы геотехнологической стратегии освоения переходных зон рудных месторождений получили дальнейшее развитие при переходе от открытой к подземной геотехнологии разработки кимберлитовой трубки «Юбилейная», железорудных Тарынахско-Горкитского, меднорудных Сафья-

новского и Весенне-Аралгинского месторождений и др.

Игнорирование или неполный учет негативных факторов, обусловленных горно-геологическими, горно-техническими, экологическими и экономическими условиями может привести к опасным техногенным авариям с тяжелыми последствиями (например, на руднике «Мир»).

Устойчивое развитие горного предприятия в соответствии с изменяющимися внешними условиями или новыми требованиями можно обеспечить только путем изменения (реакции, обновления) внутри самого предприятия. Такое изменение с целью достижения стабильного состояния и представляет собой существо переходного процесса.

Полученные результаты подтверждают перспективность продолжения работ в данном направлении, что позволит дать прогноз развития подземной геотехнологии при комбинированной разработке глубокозалегающих рудных месторождений с учетом переходных процессов на период до 2030 года.

Транспортирование горной массы представляет собой один из основных и наиболее трудоемких процессов открытых горных работ. По мере роста глубины карьеров доля затрат на карьерный транспорт доходит до 55 и даже 60 % в общих затратах на добычу полезного ископаемого. Транспортная составляющая оказывает значительное влияние на решение основных научных и проектных задач, а процесс транспортирования горной массы — основа открытой геотехнологии.

Сформулированы направления развития инновационных решений транспортных систем карьеров [13]:

- внедрение стационарных видов транспорта с низкими эксплуатационными затратами, использующих в качестве энергоресурса электроэнергию;

- внедрение электрифицированных видов автомобильного транспорта;

- повышение коэффициента использования оборудования за счет конструктивных, технологических и организационных решений (проблема особенно актуальная для стационарных видов транспорта — конвейерные и иные виды подъемников);

- совершенствование автомобильного транспорта, который на ближайшие 20—30 лет останется основным сборочным и сборочно-магистральным видом транспорта, в направлении повышения экономичности, повышения ресурса шин, увеличения ресурса, переход на использование электрической энергии (троллейно-аккумуляторные, аккумуляторные модификации);

- развитие технологий с самоходным транспортом, обеспечивающих разработку месторождений открытым способом на большую глубину (в том числе при вскрытии крутонаклонными съездами открытого заложения, крутонаклонными подземными тоннелями и др.);

- развитие поточных или специальных видов транспорта с малыми эксплуатационными затратами, использующими в качестве энергоисточника электрическую энергию, способными оперативно подвигаться вслед за развитием горных работ, в комплексе с погрузочно-доставочным оборудованием, заменяющим экскаваторно-автомобильные комплексы для глубоких относительно небольших карьеров с производственной мощностью по горной массе до 20 млн т/год. Таким оборудованием могут быть погрузчики либо специально разработанные самогружаемые транспортные машины для условий добычи полезных ископаемых, имеющих грузоподъемность 40—120 т, работающие на низкоэмиссионных энергосиловых установках (газомоторные двигатели, комбини-

рованные энергосиловые установки, аккумуляторные машины и др.);

- развитие циклично-поточной и поточной технологии транспортирования горной массы из глубоких карьеров на базе крутонаклонных конвейеров с высокой технологической гибкостью, возможностью наращивания конвейерных подъемников без остановки их работы на длительный период и оперативным переносом дробильно-перегрузочных установок с частотой передвижки 1–2 года; дробильно-перегрузочные установки должны отличаться максимальной компактностью, минимально возможной высотой встраивания в уступ перегрузочного пункта для сокращения размеров площадок перегрузочных пунктов в карьере;

- применение роботизированных комплексов выемочно-погрузочного и транспортного оборудования, обеспечивающих снижение эксплуатационных затрат, повышение производительности оборудования и в конечном счете фондоотдачу, безопасность персонала при отработке участков в опасных горнотехнических условиях.

Вскрытие глубоких горизонтов с применением подземных выработок, например, тоннелей, вкупе с крутонаклонными автосъездами может иметь широкий спектр использования при разработке крутопадающих месторождений.

Перспективными направлениями в развитии технологического карьерного транспорта следует считать применение:

- непрерывных видов транспорта с крутонаклонным подъемом горной массы (крутонаклонных конвейеров);

- карьерных наклонных канатных подъемников (автомобильных и скиповых);

- вскрытия крутонаклонными тоннельными съездами с применением

самоходных полноприводных автосамосвалов и автопоездов;

- мобильных выемочно-доставочных комплексов на базе ковшовых колесных погрузчиков, способных работать в стесненной рабочей зоне с высокими темпами понижения и динамики развития рабочей зоны в условиях доработки глубинной части карьера и доставлять горную массу до перегрузочных пунктов на магистральные виды транспорта.

Научно-технологическое обеспечение развития минерально-сырьевой базы связано с разработкой и внедрением геолого-экономических методик ускоренной переоценки запасов полезных ископаемых на основе рыночных требований и технологий, направленных на увеличение коэффициентов извлечения минерального сырья и сокращение его потерь при добыче и переработке, в том числе на основе разработки методов оценки качества технологических типов руд и методики выбора схем рудоподготовки в карьерах с целью полноты и комплексности извлечения из недр ценных компонентов и повышения при обогащении качества концентратов для металлургического передела.

Внедрение эффективных технологий управления качеством минерального сырья является одним из направлений адаптации горно-технологических систем к изменяющимся условиям разработки сложноструктурных глубокозалегающих месторождений при формировании переходных процессов горного производства и инновационных методов разработки и обогащения полезных ископаемых (ПИ) [14].

Методика выбора технологий управления качеством минерального сырья включает в себя следующие этапы:

- оценка переходных процессов при изменениях (внешних воздей-

ствиях) требований к рудоподготовке ПИ в процессе его добычи. К ним относятся изменение горно-геологических условий добычи, кондиций ПИ, требований к качеству сырья и к получаемому при обогащении концентрату, к повышению комплексности переработки ПИ;

- изучение и предварительная оценка качественных характеристик ПИ;

- лабораторные исследования качественных характеристик ПИ;

- моделирование качественных характеристик полезного ископаемого с помощью ГИС технологий;

- выбор для конкретных горно-геологических условий месторождения технологий рудоподготовки, в том числе:

- а) раздельная или селективная выемка и переработка ПИ, с организацией в карьере или на поверхности многокомпонентных перегрузочных складов (по технологическим типам ПИ), раздельная добыча с использованием циклично-поточной технологии (ЦПТ);

- б) усреднение по нормируемым качественным параметрам ПИ (содержанию ценных компонентов, количеству вредных примесей и др.) с организацией в карьере усреднительных перегрузочных (аккумулирующих) складов или посредством организации управления рудопотоками в карьерном пространстве;

- в) предобогащение ПИ в карьере, на борту карьера или на отвале с отделением включений пустой породы или некондиций (посредством грохочения, сухой магнитной сепарации и др.);

- оценка качественных, химико-минералогических и физико-механических свойств продуктов переработки минерального сырья;

- комплексная технико-эколого-экономическая оценка эффективности мероприятий по управлению качеством минерального сырья.

Выбор для реализации одного или комплекса методов рудоподготовки в режиме управления качеством сырья зависит от многих факторов, главными из которых являются: повышение в целом экономической и технологической эффективности производства, увеличение выхода готовой продукции и извлечения ценных компонентов, комплексное использование недр, снижение экологической нагрузки и сокращение отходов производства.

Рудоподготовка включает в себя следующие основные технологические операции:

- выделение технологических типов и сортов руд на основе анализа геологической информации о месторождении;

- разделение грузопотоков полезного ископаемого в карьере на отдельные потоки, отличающиеся по технологическим свойствам;

- усреднение качественных показателей рудных потоков внутри технологических типов руд в целях формирования отдельных партий кондиционной руды для обеспечения обогатительной фабрики;

- предобогащение руды в местах добычи для отсека из рудного потока пустых пород и некондиционного сырья.

Одной из основных современных тенденций горнорудного производства является постоянное снижение кондиций добываемого полезного ископаемого при одновременном росте требований к качеству сырья, поступающего на обогатительный передел, обеспечивающий получение товарной руды для прямой химико-металлургической переработки или кондиционной руды для последующего обогащения.

В этих условиях разработка инновационных методов управления качеством добываемого минерального сырья, научно обоснованный выбор и пери-

одический переход на новые эффективные технологии рудоподготовки с учетом изменяющихся при понижении горных работ горно-геологических условий разработки сложно-структурных месторождений является актуальной научной задачей, имеющей важное практическое приложение.

Необходимость предвидения экологических последствий деятельности горно-металлургических комплексов обоснована результатами исследований экологической реабилитации природных экосистем на примере отработанных месторождений руд черных и цветных металлов Урала [15,16].

С целью минимизации негативного воздействия на окружающую среду при разработке медноколчеданных месторождений экспериментально исследованы механизмы накопления, миграции тяжелых металлов. Показано, что наличие природных биогеохимических барьеров характеризуется не только повышенными концентрациями ряда техногенных месторождений (ТМ), но и достаточно интенсивной эмиссией CO_2 , а формирование гидрогеохимических систем горнопромышленных ландшафтов определяется наличием техногенной зоны гипергенеза, в которой при отработке месторождений происходила последовательная непрерывная цепь изменений рудного вещества. Предложены мероприятия по усовершенствованию приемов экологической реабилитации методами, основанными на процессах самоорганизации экосистем, иммобилизации и сорбции ТМ, разработаны рекомендации повышения объективности эколого-экономической оценки последствий техногенного воздействия на почвы.

Исследования по формированию системы управления безопасностью производства в условиях переходных процессов на примере угледобываю-

щих предприятий в развитие ранее опубликованных [12, гл. 7] результатов исследований направлены на разработку классификации опасных производственных ситуаций.

Закономерность существования на горнодобывающих предприятиях опасных производственных ситуаций (ОПС) состоит в том, что потенциальная возможность их возникновения обусловлена наличием объективных предпосылок (природные, горно-геологические, горнотехнические, технико-технологические условия и т. п.), а иницилирующим фактором зарождения ОПС является решение или действие работников как реакция на изменения социально-экономических (преимущественно), горно-геологических, горнотехнических условий функционирования.

В этом контексте, без учета потенциальной возможности возникновения опасной производственной ситуации, переходный процесс может стать фактором, иницилирующим ее зарождение. Высокая динамика среды функционирования горнодобывающих предприятий обусловила необходимость постоянного осуществления переходных процессов. Учет при проектировании, планировании и осуществлении переходного процесса закономерности возникновения ОПС на горнодобывающем предприятии, в том числе посредством их классификации, позволяет обеспечить приемлемый уровень производственного риска для безопасного ведения горных работ.

Важнейшим направлением развития методологического подхода к обоснованию стратегии комплексного освоения запасов основных и попутных компонентов полезных ископаемых является исследование взаимосвязей технологических процессов при принятии решений о заблаговременном преобразовании параметров горнотех-

нической системы в качестве реакции на изменение внутренних и внешних условий его функционирования.

В качестве примера можно сослаться на введение понятия «опережающее развитие» применительно к разработке методологии организации развития угледобывающего производственного объединения [17], заключающегося в трансформации его функций, структуры и механизмов функционирования, обеспечивающих высокую готовность объединения к новым угрозам и возможностям.

На основании анализа процессов бурения и взрывного разрушения горных пород, требующих специального управления, выявлены возможные направления совершенствования процессов буро-взрывных работ, которые заключаются: при бурении — в изменении схемы механизации работ и конструкции оборудования и инструмента, при взрывании — в изменении применяемых взрывчатых материалов и последовательности подготовки к взрыву выемочных блоков. Управляемость переходных процессов в различных условиях зависит от качества информации о прочностных свойствах массива горных пород и влиянии взрывного разрушения на охраняемые объекты [18].

К дальнейшим исследованиям по развитию методологии инновационного развития горнотехнических систем следует шире привлекать геомеханику — науку о деформациях горных пород и их массивов, а также о силах, вызывающих эти деформации. В число ее задач входит изучение геомеханических процессов, происходящих в геологической среде под влиянием горных работ, что обеспечивает обоснование и выбор систем и порядка ведения горных работ, взаимного положения выработок, способа управления горным дав-

лением, скорости подвигания забоев и других параметров технологических процессов, при которых деформации в массиве горных пород и на земной поверхности будут находиться в допустимых пределах. Геомеханическое обеспечение необходимо на всех стадиях освоения недр: при проектировании, строительстве, эксплуатации, реконструкции и ликвидации объектов. При оценке геомеханического состояния породных массивов используют в качестве базовых геологические, геотектонические, механические и геофизические данные о строении, структуре нарушенности, виде исходного поля напряжений, свойствах пород, состоянии уточняется по геодинамическим проявлениям в процессе ведения горных работ.

Заключение

Предложена формулировка сущности методологии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых.

Стратегия освоения глубокозалегающего сложноструктурного месторождения — долгосрочный план действий на всех этапах разведки, проектирования и разработки месторождения до получения товарной продукции на основе методологического подхода на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности, учитывающих нарастание объема геологической и горнотехнической информации, включая исследование переходных процессов и учет закономерностей их развития при реализации принимаемых инновационных технологий оценки, добычи, рудоподготовки и обогащения минерального сырья по адаптации горнотехнической и организационно-технологической системы горного предприятия в качестве реак-

ции на изменения внутренних и внешних условий его функционирования.

Дальнейшее развитие методологии комплексного освоения запасов глубоководных сложноструктурных месторождений связано с необходимостью исследования взаимосвязи основных технологических процессов и методов их учета при разработке и реализации инновационных реше-

ний по адаптации горнотехнической системы предприятия к изменяющимся условиям его функционирования в динамике развития горных работ.

Методологические результаты исследований предложено учитывать в качестве научного сопровождения при разработке и реализации «Стратегии развития минерально-сырьевой базы РФ на период до 2030–2050 гг.».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубецкой К. Н., Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н., Лукичев С. В. Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых. — М.: ИПКОН РАН, 2014. — 196 с.
2. Трубецкой К. Н., Корнилов С. В., Яковлев В. Л. О новых подходах к обеспечению устойчивого развития горного производства // Горный журнал. — 2012. — № 1. — С. 15–19.
3. Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Юн А. Б., Терентьева И. В. Становление нового технологического уклада комплексного освоения недр при истощении балансовых запасов месторождений // Горный журнал. — № 4. — 2019. — С. 11–14.
4. Яковлев В. Л. О методологии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых для разработки стратегии развития минерально-сырьевой базы России // Известия вузов. Горный журнал. — № 7. — 2020. — С. 5–20.
5. Jelisavka Bulatović, Goran Rajović Some Aspects of Economic – Geographical View on the Sustainable Development of Mineral Resources. // European Geographical Studies, 2017, no. 4(1), pp. 18–33.
6. Yili Ren, Jia Liang, Jian Su, Gang Cao & He Liu Data sharing mechanism of various mineral resources based on blockchain // Frontiers of Engineering Management, 2020, Vol. 7, pp. 592–604.
7. Seong-Yong K., Chul-Ho H. Analysis of Mineral Resource Exploration and Strategy in Australia // Econ. Environ. Geol., 2018, no 51(3), pp. 291–307.
8. Ran Motoori, Benjamin McLellan, Andrew Chapman, Tetsuo Tezuka Resource Security Strategies and Their Environmental and Economic Implications: A Case Study of Copper Production in Japan // Energies, 2019, no12, pp. 1–18.
9. Яковлев В. Л., Саканцев Г. Г., Яковлев А. В., Переход Т. М. Регулирование режима горных работ глубоких карьеров большой протяженности с применением комбинированных временно нерабочих бортов // Проблемы недропользования. — 2020. — № 1. — С. 18–25.
10. Соколов И. В., Никитин И. В., Соломеин Ю. М. Моделирование и эколого-экономическая оценка геотехнологической стратегии освоения переходных зон рудных месторождений // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2020. — № 2. — С. 153–167. DOI: 10.25635/b7446–4481–7083-f.
11. Соколов И. В., Антипин Ю. Г., Смирнов А. А., Никитин И. В. Обоснование подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений с учетом особенностей переходных процессов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 3–1. — С. 326–337. DOI: 10.25018/0236–1493–2020–31–0-326–337.

12. Яковлев В. Л., Корнилков С. В., Соколов И. В. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / под ред. член-корр. РАН В. Л. Яковлева // Екатеринбург: УрО РАН, 2018 — 360 с.


13. Журавлев А. Г. Вопросы оптимизации параметров транспортных систем карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — №3—1. — С. 584—602. DOI: 10.25018/0236—1493—2020—31—0-583—601.

14. Кантемиров В. Д., Титов Р. С., Яковлев А. М., Козлова М. В. Современные подходы к выбору методов рудоподготовки минерального сырья // Маркшейдерия и недропользование. — 2020. — № 4(108). — С. 29—34 DOI: 10.25635/w9470—3467—8768-v.

15. Корнилков С. В., Антонинова Н. Ю., Шубина Л. А. К вопросу об экологической реабилитации природной экосистемы, нарушенной при отработке Колыванского месторождения. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2020. — №3—1. С. 465—474. DOI: 10.25018/0236—1493—2020—31—0-465—474.

16. Рыбникова Л. С., Рыбников П. А. Проблемы самореабилитации гидросферы и очистки шахтных вод на постэксплуатационном этапе (на примере Левихинского рудника, Средний Урал). Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 3—1. С. 488—500. DOI: 10.25018/0236—1493—2020—31—0-488—500.

17. Федоров А. В. Методология организации опережающего развития угледобывающего производственного объединения: автореф. дис. ... док. техн. наук / ИГД УрО РАН. — Екатеринбург, 2020 — 35 с.

18. Реготунов А. С. Выявление факторов, влияющих на необходимость реализации переходных процессов при бурении взрывных скважин в сложноструктурных массивах горных пород / А. С. Реготунов, Р. И. Сухов, Д. А. Гращенко // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2020. — Т. 7, № 2. — С. 31—35. DOI: 10.15372/FPVGN2020070205. 

REFERENCES

1. Trubeckoj K. N., Kaplunov D. R., Ryl'nikova M. V., Radchenko D. N., Lukichev S. V. *Razvitie resursosberegayushchih i resursovosproizvodyashchih geotekhnologij kompleksnogo osvoeniya mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh* [Development of resource-saving and resources reproducing geotechnologies comprehensive exploitation of mineral deposits]. Moscow: IPKON RAN, 2014. 196 p. [In Russ]

2. Trubeckoj K. N., Kornilkov S V., Yakovlev V. L. New approaches to the sustainable development of mining. *Gornyj zhurnal*. 2012. no. 1. S. 15—19. [In Russ]

3. Kaplunov D. R., Ryl'nikova M. V., Yun A. B., Terent'eva I. V. Formation of a new technological multi-complex development of mineral resources at the depletion of balance reserves of deposits. *Gornyj zhurnal*. no. 4. 2019. S. 11—14. [In Russ]

4. Yakovlev V. L. On the methodology of complex development of reserves of solid mineral deposits for the development of a strategy for the development of the mineral resource base of Russia. *Izvestiya vuzov. Gornyj zhurnal*. no. 7. 2020. pp. 5—20. [In Russ]

5. Jelisavka Bulatović, Goran Rajović Some Aspects of Economic Geographical View on the Sustainable Development of Mineral Resources. *European Geographical Studies*, 2017, no. 4(1), pp. 18—33.

6. Yili Ren, Jia Liang, Jian Su, Gang Cao & He Liu Data sharing mechanism of various mineral resources based on blockchain. *Frontiers of Engineering Management*, 2020, Vol. 7, pp. 592—604. [In Russ]

7. Seong-Yong K., Chul-Ho H. Analysis of Mineral Resource Exploration and Strategy in Australia. *Econ. Environ. Geol.*, 2018, no 51(3), pp. 291—307.

8. Ran Motoori, Benjamin McLellan, Andrew Chapman, Tetsuo Tezuka Resource Security Strategies and Their Environmental and Economic Implications: A Case Study of Copper Production in Japan. *Energies*, 2019, no. 12, pp. 1–18.

9. Yakovlev V. L., Sakancev G. G., Yakovlev A. V., Perekhod T. M. Regulation of mining operations, deep pits large extent with the use of combined temporarily inoperative boards. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2020. no. 1. pp. 18–25. [In Russ]

10. Sokolov I. V., Nikitin I. V., Solomein Yu. M. Modeling and ecological and economic assessment of the geotechnological strategy for the development of transition zones of ore deposits. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2020. no. 2. pp. 153–167. DOI: 10.25635/b7446–4481–7083-f. [In Russ]

11. Sokolov I. V., Antipin Yu. G., Smirnov A. A., Nikitin I. V. Substantiation of underground geotechnology in the combined development of ore deposits taking into account the features of transition processes. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. no. 3–1. S. 326–337. DOI: 10.25018/0236–1493–2020–31–0-326–337. [In Russ]

12. Yakovlev V. L., Kornilkov S. V., Sokolov I. V. *Innovacionnyj bazis strategii kompleksnogo osvoeniya resursov mineral'nogo syr'ya* [Innovative basis of the strategy of integrated development of mineral resources]. pod red. chlen-korr. RAN V. L. Yakovleva. Ekaterinburg: UrO RAN, 2018 360 s. [In Russ]

13. Zhuravlev A. G. Questions of optimization of parameters of transport systems of quarries. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. no.3–1. pp. 584–602. DOI: 10.25018/0236–1493–2020–31–0-583–601. [In Russ]

14. Kantemirov V. D., Titov R. S., Yakovlev A. M., Kozlova M. V. Modern approaches to the choice of methods of ore preparation of mineral raw materials. *Markshejderiya i nedropol'zovanie*. 2020. no. 4(108). pp. 29–34 DOI: 10.25635/w9470–3467–8768-v. [In Russ]

15. Kornilkov S. V., Antoninova N. Yu., Shubina L. A. On the issue of ecological rehabilitation of the natural ecosystem disturbed during the development of the Kolyvan field. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. no.3–1. pp. 465–474. DOI: 10.25018/0236–1493–2020–31–0-465–474. [In Russ]

16. Rybnikova L. S., Rybnikov P. A. Problems of self-rehabilitation of the hydrosphere and mine water purification at the post-operational stage (on the example of the Levikhinsky mine, Middle Urals). *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. no. 3–1. pp. 488–500. DOI: 10.25018/0236–1493–2020–31–0-488–500. [In Russ]

17. Fedorov A. V. *Metodologiya organizacii operezhayushchego razvitiya ugledobyvayushchego proizvodstvennogo ob»edineniya* [Methodology of the organization of the advanced development of the coal mining production association]: avtoref. dis. ... dok. tekhn. nauk / IGD UrO RAN. Ekaterinburg, 2020 35 p. [In Russ]

18. Regotunov A. S., Suhov R. I., Grashchenko D. A. Identification of factors influencing the need for the implementation of transition processes when drilling explosive wells in complex-structured rock massifs. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyh nauk*. 2020. T. 7, no. 2. pp. 31–35. DOI: 10.15372/FPVGN2020070205. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Яковлев Виктор Леонтьевич – докт. техн. наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник Института горного дела Уральского отделения Российской академии наук, e-mail: yakovlev@igduran.ru, Екатеринбург, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Yakovlev V. L., Dr. Sci. (Eng.), Professor, Corresponding Member of RAS, Chief Researcher of the Institute of Mining UB RAS, e-mail: yakovlev@igduran.ru, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 18.12.2020; получена после рецензии 07.04.2021; принята к печати 10.04.2021.

Received by the editors 18.12.2020; received after the review 07.04.2021; accepted for printing 10.04.2021.