

УДК 92;622.831

**АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСВОЕНИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ГЛУБОКОГО ЗАЛЕГАНИЯ
В УСЛОВИЯХ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

М. В. Курленя

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
E-mail: Kurlenya@misd.ru, Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Предложена программа научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по освоению месторождений полезных ископаемых глубокого залегания в Сибири и на Дальнем Востоке. Раскрыты постановка и решение задач горного дела по изучению физического состояния недр, принципы создания и модернизации горных машин, ресурсосберегающих систем разработки угольных, рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых, включая обоснование параметров технологических схем, роботизацию процессов добычи, обогащение, переработку минерального сырья и недропользование.

Недра, глубина, горные работы, системы разработки месторождений полезных ископаемых, роботизация технологических процессов, горные машины, обогащение и переработка минерального сырья

DOI: 10.15372/FTPRPI20210401

В настоящее время проблема освоения месторождений полезных ископаемых глубокого залегания находится на переднем крае горных наук. Мировой опыт показывает целесообразность их разработки, несмотря на сложные горно-геологические условия. Каковы причины? К ним можно отнести следующие:

- горнодобывающие предприятия в своем большинстве градообразующие и тесно связаны с социальной сферой, особенно в плане занятости населения и развития малонаселенных районов;
- экономические — возможность избежать привлечения огромных средств на разведку и воспроизводство запасов полезных ископаемых, а также на капитальное строительство новых рудников и инфраструктуры;
- ценность минерального сырья и его востребованность;
- большие достижения последних лет в области фундаментальных и прикладных наук в горном деле.

В табл. 1 представлены глубины, на которых ведутся горные работы в ряде зарубежных стран.

ТАБЛИЦА 1

| Страна | Глубина проведения горных работ, м |
|-----------|------------------------------------|
| Австралия | 1000 – 1900 |
| Замбия | 1400 – 1600 |
| Индия | 3500 – 4000 |
| Канада | 2000 – 3500 |
| США | 1000 – 2600 |
| Финляндия | 1400 – 1670 |
| Швеция | 1000 – 1860 |
| ЮАР | 2000 – 3800 |

Разрабатываемые месторождения полезных ископаемых характеризуются широким диапазоном горно-геологических условий и геомеханических параметров геологической среды, применением разнообразных геотехнологий. Самые глубокие рудники и шахты, осваивающие недра, находятся в Индии, Канаде и ЮАР [1 – 10].

В табл. 2 приведены обобщенные сведения о типах месторождений полезных ископаемых и глубины, на которых ведутся горные работы в Сибири и на Дальнем Востоке, где горно-геологические условия недр характеризуются как сложные [11 – 26].

ТАБЛИЦА 2

| Типы месторождений полезных ископаемых | Глубина проведения горных работ, м |
|--|------------------------------------|
| Рудные, содержащие цветные металлы | 600 – 2000 |
| Железорудные | 700 – 1200 |
| Алмазные трубки | 1000 – 1450 |
| Угольные | 400 – 800 |

Понижение горизонта ведения горных работ, как правило, сопровождается ухудшением условий эксплуатации месторождений полезных ископаемых: изменение физико-механических свойств горных пород, рост температуры геологической среды, неуклонное увеличение горного давления в выработках и его проявление в динамической форме. Эти обстоятельства повышают требования к безопасности труда рабочего персонала и использованию горной техники. Кроме того, структура существующих горнотехнических комплексов основана на совместном применении большого количества технологических процессов, взаимодействующих друг с другом, и поэтому связь между ними становится все более сложной.

Таким образом, отмеченные условия эксплуатации шахт и рудников ставят перед наукой и производством ряд комплексных задач и определяют исследования, которые необходимо выполнять сегодня. Только они позволят понять проблемы, с которыми столкнется в ближайшие годы горнодобывающая отрасль промышленности Сибири и Дальнего Востока, и какие передовые решения и ресурсы потребуются для того, чтобы обеспечить ее развитие. Отсюда следуют приоритеты научной деятельности:

1) фундаментальные исследования физического состояния горных пород месторождений полезных ископаемых на больших глубинах;

2) создание более эффективных систем разработки и способов управления массивом горных пород и технологическими процессами, преобразующими горнодобывающее производство в экологически чистую, безотходную, комплексно использующую минеральное сырье отрасль.

Такая постановка научных исследований ориентирует на разработку единого консолидированного документа, в котором должны быть скомпонованы рекомендации, базирующиеся на практическом опыте, экспериментах и далеко идущих прогнозах, отражающих развитие горных наук и связь их с горнодобывающей промышленностью. В этом случае полностью осуществляется неразрывность идей, теории и практики.

В настоящее время остается ряд нерешенных практических вопросов горного дела по оценке устойчивости подземных сооружений при длительной их эксплуатации, адаптации существующих математических моделей поведения массива горных пород, а также по разработке надежных систем геомеханического мониторинга, позволяющих получать информацию о состоянии геологической среды в режиме реального времени. Для этого потребуется установить механизм развития очаговых зон повышенной концентрации напряжений в окрестности выработок, деструкцию горных пород, обладающих блочно-иерархической структурой и многофазностью.

Рассмотрим постановку ряда задач, относящихся к изучению физического состояния массива горных пород, созданию и модернизации горных машин, технологий добычи и переработки минерального сырья, применительно к освоению месторождений твердых полезных ископаемых глубокого залегания в Сибири и на Дальнем Востоке.

ИДЕЙНАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Физическое состояние массива горных пород характеризуется основополагающими факторами при обосновании строительства глубоких шахт, рудников и карьеров, которые определяют эффективную и безопасную разработку месторождений полезных ископаемых. Поэтому научные исследования, относящиеся к методам и средствам, повышающим информативность наблюдений за изменением состояния недр, являются необходимыми на всех стадиях ведения горных работ. К ним следует отнести следующие:

1) Изучение поведения горных пород при физических воздействиях на них и выбор способов оценки влияния техногенных процессов на изменения механического состояния породного массива:

— сейсмическое, электромагнитное и тепловое воздействие на массив горных пород и геомеханические процессы;

— обоснование способов контроля физического состояния породного массива по особенностям распространения упругих колебаний;

— напряженно-деформированное состояние породного массива, геомеханические и фильтрационные процессы в локальной зоне управления физическим воздействием.

2) Модернизация и разработка способов наблюдения. Методы, системы, алгоритмы обработки и интерпретация экспериментальных данных о природных и техногенных процессах в массиве горных пород и инженерных сооружениях шахт, рудников и карьеров:

— дистанционные способы наблюдений на основе сейсмоакустической, электромагнитной и тепловой эмиссий;

— микросейсмический мониторинг процессов аккумуляции упругой энергии и разрушения породного массива;

— метод контроля состояния массива в окрестностях горных выработок по дисперсии скорости и затухания сейсмических волн;

— оптимизация систем наблюдений и разработки методических, нормативных и регламентирующих документов для горнодобывающих предприятий.

3) Разработка аппаратно-программных средств. Приборы, системы управления сбором данных, программное обеспечение:

— измерительно-вычислительные системы для мониторинга геомеханического состояния массива горных пород на шахтах, рудниках и глубоких карьерах, создание модулей передачи измерительной информации по радиоканалу от датчиков на ретрансляторы и в центр сбора и обработки результатов наблюдений;

— программно-технические средства для выполнения лабораторных и полевых исследований физико-механических свойств горных пород в условиях их объемного нагружения, построения паспортов прочности.

4) Моделирование процессов деформирования породного массива с внутренней структурой, оценка его энергонасыщенности, высвобождения накопленной энергии и прогноз динамических явлений в окрестности горных выработок:

— модели, описывающие иерархическую блочную структуру массива горных пород, его способность запасать и высвобождать накопленную энергию;

— численные конечно- и дискретно-элементные алгоритмы, компьютерные программы для решения задач геомеханики и прогноза возможных катастрофических сценариев развития динамических процессов в массиве горных пород.

**СОЗДАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ
УГОЛЬНЫХ, РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.
ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ И ПРОЦЕССОВ ДОБЫЧИ,
ОБОГАЩЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

Рассматриваемая область знаний содержит решения практических задач горного дела. Она охватывает применение результатов фундаментальных исследований массива горных пород, поисковые инженерные работы, проектирование способов разработки месторождений для конкретных горно-геологических условий. Отметим постановку ряда важных научно-исследовательских задач, связанных с влиянием глубины горных работ на развитие систем добычи, обогащения и переработки минерального сырья.

1. Теоретические направления развития технологий разработки месторождений полезных ископаемых:

— методы физико-химического воздействия на массив горных пород и обоснование технологий управления его состоянием;

— геолого-экономическая кластеризация и геолого-технологическое картирование структуры и качества месторождений полезных ископаемых сложного строения, разработка моделей, стратегическая, инвестиционная и экономическая привлекательность их освоения;

— трехмерное математическое моделирование подготовительно-нарезных и очистных работ в широком диапазоне горно-геологических и геомеханических условиях залегания месторождений полезных ископаемых;

— варианты геотехнологий и их применение при разработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах горных работ в Сибири и на Дальнем Востоке.

2. Обоснование конструктивных параметров геотехнологий:

— рейтинговая оценка систем разработки месторождений полезных ископаемых, обеспечивающая дифференцированный выбор основных параметров геотехнологий в формализованных геомеханических условиях горных работ с учетом глубины залегания и показателей полноты и качества извлечения запасов из недр;

— прогноз безопасного применения систем разработки при освоении месторождений полезных ископаемых глубокого залегания. Методология проектирования и планирования горных работ при усложнении горно-геологических условий;

— научное обоснование перехода от открытой к подземной разработке месторождений полезных ископаемых, оценка температурных воздействий на состояние массива горных пород и проветривание выработок, в том числе в криолитозоне;

— изучение физико-механических свойств массива горных пород и моделирование перераспределения напряжений в нем в окрестности выработанных пространств, мероприятия по предотвращению динамических явлений в выработках.

3. Научные основы и технологии дегазации угольных месторождений:

— локация зон повышенной газоносности угольных пластов, создание приборов, оборудования, способов измерения, методики интерпретации данных наблюдений;

— процесс диффузии метана из угольных пластов при техногенных динамических воздействиях на массив горных пород;

— тектонические процессы и их влияние на эмиссию метана в горные выработки;

— оценка эффективности добычи метана из низкопроницаемых угольных пластов сейсмическими полями малой интенсивности и методами гидроразрыва и разгрузки массива призабойной зоны;

— микробиологическая технология дегазации угольных месторождений.

4. Обогащение и переработка минерального сырья:

— развитие технологий обогащения труднообогатимого минерального сырья на основе теории действия металлов-активаторов в элементарном акте флотации;

— синергизм во флотационном обогащении от использования композиции реагентосборителей как результат неравновесности поверхностного натяжения на границе раздела “газ – жидкость” в момент образования контакта;

— повышение селективности флотационного извлечения полезных минералов изменением собирательной активности химической и физической форм сорбции;

— разработка структуры и состава углеводородного фрагмента молекулы собирателя;

— повышение крупности извлекаемых пенной флотацией минеральных зерен. Выбор состава и структуры молекулы поверхностно-активных веществ, формирующих пленки с заданными модулем упругости и амплитудно-частотными характеристиками границы раздела “газ – жидкость”;

— численные методы расчета и разработки флотационных машин с низким потреблением энергии для флотации крупных частиц и качественного извлечения тонких частиц;

— технологии обогащения и переработки минерального сырья посредством физико-химических и энергетических воздействий на рудную массу;

— технология переработки низкокачественных руд, содержащих редкоземельные элементы.

СОЗДАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ГОРНЫХ МАШИН И РОБОТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Данная область НИР и ОКР охватывает постановку и решение задач, направленных на развитие горного машиноведения и получение новых научных знаний в теории пневматических, гидравлических и электромагнитных виброударных систем, процессах взаимодействия рабочих органов виброударных машин с породным массивом, позволяющих производить на отечественных предприятиях конкурентно-способное оборудование для реализации прогрессивных способов добычи и переработки полезных ископаемых на основе цифровых интеллектуальных производственных технологий и роботизированных систем. Направления и задачи исследований:

- 1) Разработка теоретических основ и методов проектирования гидроударных, пневмоударных и электромагнитных ударных устройств для исполнительных органов горных машин:
 - обоснование схем и конструкций адаптивных гидроударных, пневмоударных и электромагнитных ударных устройств для разрушения горных пород и бурения скважин;
 - разработка прототипов ударных устройств для бурения скважин, систем их испытания;
 - применение ударных устройств в заданном диапазоне физико-механических свойств горных пород;
 - схемы согласования работы гидроударных устройств с рабочим оборудованием базовых горных машин.
- 2) Машины для проведения скважин с изменяемыми амплитудно-частотными характеристиками ударного воздействия на массив горных пород:
 - прототипы машин, изготовление и их испытание;
 - эффективность использования этих машин для разрушения горных пород.
- 3) Энергонасыщенные погружные пневмоударники высокого давления (2.0–2.5 МПа) и породоразрушающий инструмент к ним:
 - роботизированный буровой комплекс для проходки скважин;
 - беззолотниковые системы воздухораспределения для пневмоударников разного диаметра;
 - способы управления траекторией движения бурового снаряда и методы контроля.
- 4) Инерционно-ударный рабочий орган для разрушения горных пород:
 - технологические схемы добычи твердых полезных ископаемых, основанные на инерционно-ударном способе разрушения горных пород, вибрационном выпуске отбитой горной массы из аккумулирующих емкостей и формировании отвалов;
 - проект струга с молотковым ротором и технологическая схема добычи твердых полезных ископаемых.
- 5) Вентиляторы главного проветривания и энергоэффективные системы управления вентиляцией в штатном и аварийном режимах работы горного предприятия:
 - аэродинамические схемы высоконагруженных осевых вентиляторов главного проветривания с интенсивностью в реверсивном режиме работы не ниже 0.7 от производительности при прямой работе;
 - математическая модель вентиляционной системы угольной лавы, учитывающей ее длину и динамику концентрации метана в очистном забое и выработанном пространстве;
 - способ проветривания лавы с применением струйного вентилятора, установленного на очистном комбайне;
 - технология воздухоподготовки для систем вентиляции горнодобывающих предприятий, расположенных в криолитозоне.

ВЫВОДЫ

Представлена программа научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке месторождений твердых полезных ископаемых глубокого залегания. Рассмотрены приоритетные направления и задачи изучения недр, создания и модернизации горных машин, технологий добычи и переработки минерального сырья. Назначение программы — прогнозирование эффективного освоения минеральных ресурсов в условиях Сибири и Дальнего Востока на ближайшие 10 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Bedard N., Boulanger H., Cousin P., Lombardi D., Mercier A., and Prince C.** Technical report on the Iapa gold project, Cadillac Township, Quebec, Canada, Report Prepared for Agnico-Eagle Mines Limited, 2006. — 185 p.
2. **Jakubec J., Woodward R., Boggis B., Clark L., and Lewis P.** Underground mining at Ekati and Diavik diamond mines, 11th Int. Kimberlite Conf., Botswana, 2017. — P. 87–91.
3. **Robles-Stefoni L. and Dimitrakopoulos R.** Stochastic simulation of the fox kimberlitic diamond pipe, Ekati mine, Northwest territories, Canada, J. S. Afr. Inst. Min. Metall., 2016, Vol. 116, No. 2. — P. 189–200.
4. **Brzovica A. and Villaescusa E.** Rock mass characterization and assessment of block-forming geological discontinuities during caving of primary copper ore at the el Teniente mine, Chile, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 2007, Vol. 44. — P. 565–583.
5. **Подвишенский С. Н., Иофин С. Л., Ивановский Э. С., Гальперин В. Г.** Техника и технология добычи руд за рубежом. — М.: Недра, 1986. — 255 с.
6. **Славиковский О. В.** Подземная разработка месторождений руд цветных металлов на больших глубинах за рубежом. — М.: ЦНИИЭИЦМ, 1983. — 78 с.
7. **Бронников Д. М., Замесов Н. Ф., Богданов Г. И.** Разработка руд на больших глубинах. — М.: Недра, 1982. — 292 с.
8. **Развитие интенсивных методов добычи руд на больших глубинах / Н. Ф. Замесов, И. И. Айнбиндер, Л. И. Бурцев и др.** — М.: ИПКОН АН СССР, 1990. — 233 с.
9. **Гальперин В. Г., Юхимов Я. И., Борсук И. В.** Опыт разработки месторождений на больших глубинах за рубежом. — М.: ЦНИИЭИЦМ, 1986. — 50 с.
10. **Угольная промышленность Кузбасса.** Основные показатели работы. — Кемерово: ИВШ, 2018. — 88 с.
11. **Неверов А. А.** Развитие научных основ подземных комбинированных технологий разработки мощных пологопадающих рудных залежей в сложных геомеханических условиях: дис. ... д-ра техн. наук. — Новосибирск, 2020. — 42 с.
12. **Никольский А. М.** Обоснование подземных геотехнологий освоения алмазоносных месторождений Якутии: дис. ... д-ра техн. наук. — Новосибирск, 2019. — 383 с.
13. **Неверов С. А.** Обоснование подземных технологий с обрушением руды и вмещающих пород при выемке мощных крутопадающих залежей в условиях роста глубины разработки: дис. ... д-ра техн. наук. — Новосибирск, 2021. — 22 с.
14. **Гусев Ю. П., Березиков Е. П., Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н., Шапошник С. Н.** Ресурсосберегающие технологии добычи руды на Малеевском руднике Зырянского ГОКа // Горн. журн. — 2008. — № 11. — С. 20–22.

15. **Айнбиндер И. И., Галченко Ю. П., Овчаренко О. В., Пацкевич П. Г.** Основные направления развития геотехнологий подземной разработки рудных месторождений на больших глубинах // Горн. журн. — 2017. — № 11. — С. 65–70.
16. **Курленя М. В., Еременко А. А., Шрепп Б. В.** Геомеханические проблемы разработки железорудных месторождений Сибири. — Новосибирск: Наука, 2001. — 184 с.
17. **Замесов Н. Ф.** Создание и совершенствование технологии очистной выемки и принципы конструирования систем в условиях больших глубин // Проблемы подземной эксплуатации рудных месторождений на больших глубинах: сб. тр. — М.: ИПКОН, 1985. — С. 9–26.
18. **Бенявски З.** Управление горным давлением. — М.: Мир, 1990. — 254 с.
19. **Исаев К. О., Макаров А. Б., Терешин А. А., Сосунов Ю. А.** Управление горным давлением при разработке Орловского месторождения слоевой системой с закладкой // Маркшейдерский вестн. — 1999. — № 2. — С. 23–33.
20. **Лизункин В. М., Сосновская Е. Л., Бейдин А. В.** Особенности напряженно-деформированного состояния горного массива на Юбилейном месторождении // ГИАБ. — 2014. — № 4. — С. 201–206.
21. **Фрейдин А. М., Усков В. А., Неверов А. А.** Геомеханическое обоснование камерной одностадийной выемки руды на Николаевском руднике // Горн. журн. — 2006. — № 6. — С. 65–69.
22. **Никольский А. М., Коваленко А. А., Тишков М. В., Неверов С. А., Неверов А. А.** Технология подземной отработки подкарьерных запасов в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях. — Новосибирск: Наука, 2017. — 328 с.
23. **Шапошник Ю. Н., Неверов А. А., Неверов С. А., Никольский А. М.** Оценка влияния накопившихся пустот на безопасность доработки Артемьевского месторождения // ФТПРПИ. — 2017. — № 3. — С. 108–118.
24. **Каплунов Д. Р., Ломоносов Г. Г.** Основные проблемы освоения недр при подземной разработке рудных месторождений // Горн. журн. — 1999. — № 1. — С. 42–45.
25. **Аршавский В. В., Тапсиев А. П.** Совершенствование технологии горных работ на рудниках Норильского промышленного района // Цв. металлы. — 2003. — № 8–9. — С. 17–20.
26. **Харьков А. В., Бодренков А. Е.** Управление геомеханическим состоянием массива горных пород на Гайском подземном руднике // Горн. журн. — 2011. — № 4. — С. 72–76.

Поступила в редакцию 26/VI 2021

После доработки 29/VI 2021

Принята к публикации 30/VI 2021