

Краткое содержание работы. Современная минерально-сырьевая база России и в мире в целом характеризуется интенсивной разработкой освоенных крупных месторождений полезных ископаемых. Быстрое сокращение запасов руды большинства разрабатываемых рудных тел, ухудшение горно-геологических и геомеханических условий с ростом глубины, а также увеличение доли добычи богатых руд в предохранительных целиках, оставленных для охраны поверхности приводит к созданию в массиве зон, опасных по горным ударам.

Значительного улучшения сырьевой базы можно достигнуть за счет освоения богатых руд на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам, Кольского региона, Норильского промышленного района, Западной Сибири, Дальнего Востока, в законсервированных предохранительных целиках под промышленными и водными объектами, ранее не отработываемых по факторам безопасности или экономической целесообразности. Освоение глубоких горизонтов обострило проблемы прогноза и предотвращения геодинамических явлений, наносящих значительный материальный ущерб промышленным предприятиям и объектам, находящимся в зонах влияния выработанных пространств. Сохранение земной поверхности, ограничение влияния уже имеющихся очагов сейсмических событий – неременное условие успешного развития горнопромышленных комплексов. В связи с этим проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке и реализации принципиально новых систем, приборов, методов регионального и локального прогноза геодинамических явлений, является перспективным направлением в обеспечении безопасности горных работ. Стратегическое значение выдвигаемой работы заключается в разработке технологических схем вскрытия и отработки рудных тел и предохранительных целиков, новых конструктивных параметров геотехнологии на больших глубинах 1000-1500 м и более для сохранения конкурентоспособности горнодобывающих предприятий как на отечественном, так и зарубежных рынках.

Работа выполнена в рамках приоритетных направлений развития науки, технологий и техники Российской Федерации; государственных контрактов: №№ 16.515.11.5056, 16.515.11.5085, 675-15-2021-663, FWNZ-2021-0003, ИСГЗ; Российского научного фонда: №№ 14-17-00751, МК-6827.2018.5; РФФИ: №№ 09-05-005339, 03-05-65258, 06-05-64681, 09-05-00007, 12-05-00507; программ фундаментальных исследований СО РАН: №№ СОРАН1Х.132.4; интеграционных проектов: ДВО РАН № 12-11-СУ-10 и др., в период 2015-2023 гг.

Целью данной работы явилась разработка технологий добычи запасов богатых руд в удароопасных условиях в предохранительных целиках под промышленными и водными объектами, обеспечивающих снижение риска техногенных катастроф и безопасное развитие горнодобывающих предприятий на основе инновационных решений.

Основная научно-техническая идея работы заключается в обосновании принципиально новых технологических схем и параметров геотехнологии добычи богатых руд в условиях Арктической зоны, Крайнего Севера, Западной Сибири и Дальнего Востока, на принципе сочетания схем вскрытия и отработки запасов в предохранительных целиках, конструктивных элементов систем разработки с учетом полученных закономерностей распределения зон концентрации горизонтальных напряжений, опасных деформационных и геодинамических явлений на основе геомеханической оценки массива горных пород.

Практические достижения. Впервые созданы научно-технические и методические основы подхода к диагностике сейсмических событий; новые программы и алгоритмы расчета напряжений и зон неупругих деформаций при ведении очистных работ; автоматизированные системы региональной и приборы локальной оценки геомеханического состояния массива и критерии удароопасности; методики прогнозирования геодинамических явлений; ори-

гинальные технологические схемы вскрытия и отработки богатых руд и рациональные параметры геотехнологии для глубин 1000-1500 м и более в предохранительных целиках; позволяющие обеспечить безопасность и эффективность разработки месторождений в Арктической зоне, Крайнего Севера, Западной Сибири и Дальнего Востока.

Обзор существующих практик в мировой и отечественной практике аппаратно-программной реализации, автоматизированных систем микросейсмического и сейсмоакустического мониторинга (DTSS ARAMIS M/E, AR2000 P/E, Quanterra Q330HRS, Integrated Seismic System QSS, GITS, АС «Релос») показал, что все представленные системы мониторинга либо выпускаются в Российской Федерации серийно, либо (зарубежные) имеют торговых представителей в РФ.

IMS - представительство ISS, проводят агрессивную маркетинговую политику для внедрения систем ISS, при этом предлагают аутсорсинговые услуги на обработку данных. Покупатель данной системы попадает в полную зависимость от данной компании IMS.

Система GITS, разработанная ВНИМИ и имеющая внедрения на угольных шахтах, не смогла закрепиться в ЗФ ПАО «Норильский Никель» и других рудниках по эксплуатационным характеристикам, при этом имеет хорошую методическую поддержку.

Система АС «Релос» несмотря на длительное применение, востребована и активно закупается рудниками нашей страны. На смену данной системы подготовлена новая полностью цифровая система «Регион-Гео», аналог которой, «Регион-Гидро» успешно работает на Саяно-Шушенской ГЭС.

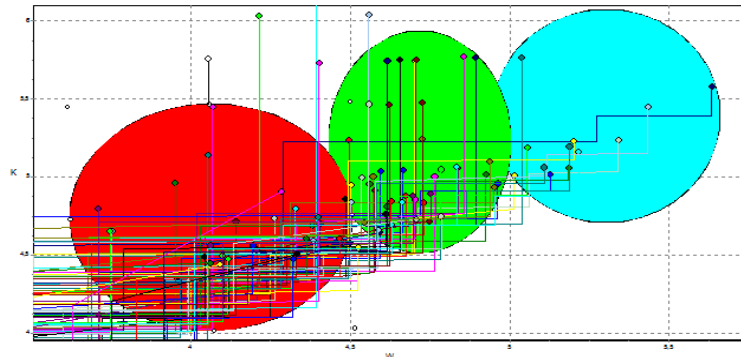
Система АСКСМ разработана и внедрена НПО «Системотехника» на рудниках АО «ФосАгро». АСКСМ регистрирует события по энергетике от 10000 Дж, что характерно для региональной низкочастотной системы, контролирующей протяженные поля рудников (систем рудников) до десятков километров.

Проведены патентные исследования по классам E21C, F42D3/04÷G01V1/28 по двум группам. По России на базе данных ФИПС, АБИС «Ирбис» – «Изобретения стран мира» в отношении США, Великобритании и Германии. Анализ по способам и устройствам, предназначенным для оценки состояния горных пород, методов предупреждения горных ударов и технологий разработки месторождений показал, что ранее разработанные технологии имеют ряд ограничений и недостатков, особенно, с увеличением глубины горных работ, в связи с чем использование в данной работе совокупности преимуществ, позволило достичь высокого уровня созданных систем регионального и приборов локального прогноза геодинамических явлений и геотехнологий выемки богатой руды на удароопасных участках.

Дано сравнение с существующими отечественными и зарубежными аналогами, и установлено, что достигнуты определенные успехи в управлении горным давлением и улучшением производственных показателей путем применения принудительного обрушения налегающих пород, определенным порядком ведения горных работ, применением систем разработки с закладкой. Однако, при понижении очистных работ более 1000÷1500 м и более повышаются требования к геотехнологии добычи руд, так как увеличивается напряжение при наличии руд и пород с различными физико-механическими и упругими характеристиками, трещиноватость.

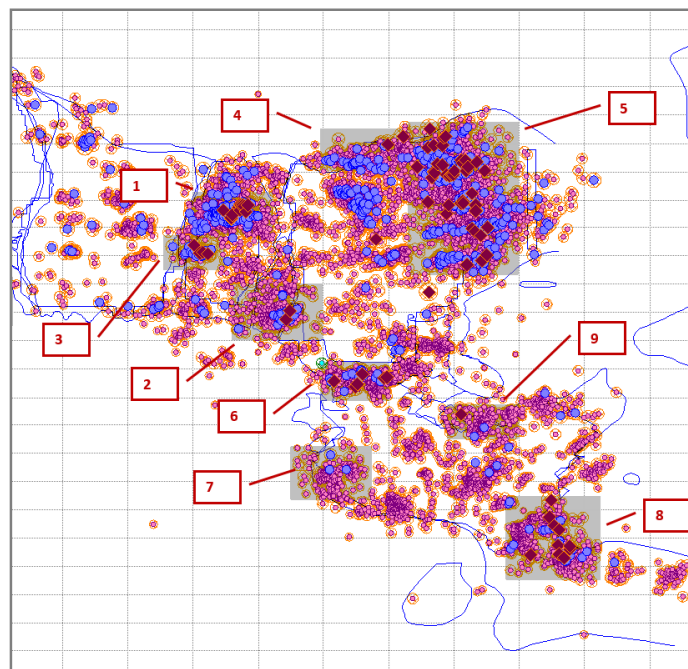
Выполнены исследования по оценке геомеханического состояния массива горных пород для условий апатит-нефелиновых, полиметаллических и железорудных месторождений. С целью выявления опасного состояния в массиве рассчитаны сейсмические циклы, построены трековые диаграммы, аттракторы и отражены наиболее опасные зоны в границах, например, Кировского рудника. Дан долгосрочный прогноз напряженного состояния и изменения удельной энергии деформирования блоков-целиков.

При отработке панелей в сульфидных медно-никелевых залежах установлено, что на глубинах 1000-1400 м и более формируются и мигрируют зоны сейсмической активности различного энергетического класса.



Трековые диаграммы сейсмических циклов и аттракторы для Кировского крыла

Интенсивность возникновения и распределения зон сейсмической активности с энергией событий 70-4500 Дж и более в массиве горных пород, вызванных реакцией среды на разработку сульфидных медно-никелевых руд системами без и с закладкой выработанного пространства определяется очередностью выемки залежей и панелей широтными и сходящимися фронтами с периодами формирования зон сейсмической активности в течение 0,5-2,5 мес. на руднике Таймырский и 0,5-4,0 мес. на руднике Октябрьский.



Зоны сейсмической активности (1-9) на руднике Таймырский

Разработана и реализована методика для расчета деформаций земной поверхности при выемке рудных запасов в предохранительном целике в районе вентиляционного ствола, что позволило на длительное время сохранить ствол в эксплуатационном состоянии. Снижение негативных последствий сдвигения горных пород на крепь грузового ствола рудника Октябрьский при отработке предохранительного целика достигнуто разделением массива на искусственные блоки, и это исключило часть массива из общего сдвижения горных пород.

С использованием математического моделирования определены зоны концентрации напряжений, неупругих деформаций и толчков при отработке предохранительных целиков под реками Кондома и Большая речка, в районе стволов, зданий и сооружений на Таштагольском и Шерегешевском месторождениях. Определены условия формирования удароопасной ситуации до и после отработки блоков. Выявлено, что зона опорного давления в целиках охватывает 2-3 подготавливаемого к выемке блока по простиранию месторождения, при этом пригрузка на буровом горизонте ниже, чем на горизонте подсечки блока. Зона опорного давления располагается на расстоянии 20-30 м от днища блока, при дальнейшем развитии фронта очистных работ перемещается на глубину 60 м. Установлена закономерность пространственного, временного и энергетического распределения толчков, позволившая разработать методику прогноза геодинамических явлений при отработке предохранительных целиков.

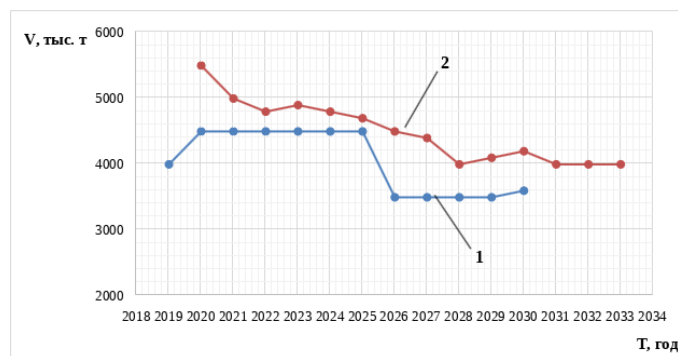
С переходом горных работ на более глубокие горизонты на месторождении Антей увеличилось число и интенсивность толчков. Построены карты акустической активности. Определены границы опасных деформационных и удароопасных зон, а также защитных зон в краевых частях выработанных пространств при выемке богатых, медистых и железных руд, позволяющие обеспечить безопасность горных работ.



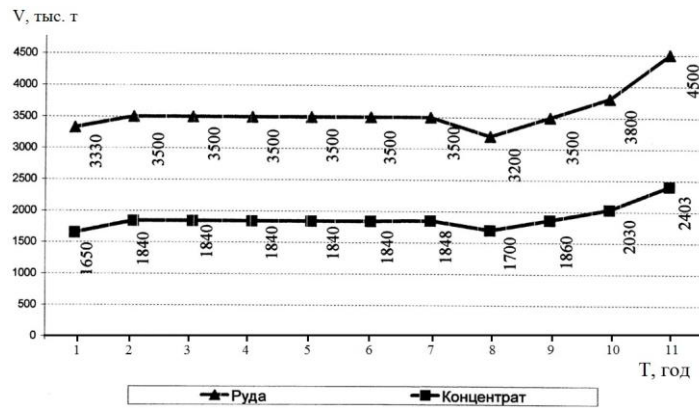
Опасные зоны от краевых частей очистного пространства для Восточного участка Таштагольского месторождения при системе разработки с твердеющей закладкой

Разработаны оригинальные технологические схемы и рациональные параметры геотехнологий освоения богатых руд под промышленными и водными объектами.

Впервые разработаны рациональные параметры геотехнологии освоения богатых руд для глубин 1000-1500 м и более на месторождениях, расположенных в разных регионах России, которые включают системы поэтажного обрушения без и с закладкой очистного пространства, этажного принудительного обрушения, слоевую с закладкой, этажно-камерную и камерно-целиковую без и с закладкой.



Изменение объемов добычи сульфидных медно-никелевых руд рудника Таймырский за период 2019 – 2030 гг. (1) и рудника Октябрьский (2) за период 2020 – 2033 гг.



Динамика добычи руды и производства концентрата на Шерегешевском месторождении

В целом, по работе опубликовано 7 монографий; 216 статей; получено 14 патента РФ; утверждено 12 нормативно-методических документов; подготовлено 79 студентов; защищено 1 докторская и 10 кандидатских диссертаций. Результаты работ использованы при разработке и реализации региональных и локальных систем и приборов прогноза и предупреждения горных пород, регламентов и проектов АО «Гипроруда», АО «Уралмеханобр», ООО «СПб-Гипрошахт», АО «Евраз ЗСМК» – АО «Евразруда», КФ АО «Апатит», ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», АО «ГМК «Дальполиметалл», ОАО «Приаргунское» на отработку рудных участков и блоков в целиках. Дальнейшая реализация результатов работы осуществляется на горнорудных предприятиях: ш. Южная, Айхал, ш. Глубокая, Олений ручей, Учалинский ГОК, Гайский, Сибирь-полиметаллы, Башкирская медь.

Достигнут социально-экономический эффект, связанный со снижением затрат на горные работы, интенсивности геодинамических явлений и травматизма горнорабочих (см. справку о социально-экономическом эффекте).

Реализация инновационных технологий освоения запасов богатых руд позволила снизить объемы подготовительных, нарезных и восстановительных работ в 1,2-1,3 раза; крепления и перекрепления горных выработок в 1,2-1,3 раза; бурения скважин в 1,15-, 1,2 раза; протяженности выработок на 10-15%; трудоемкость по системе разработки на 15-30%; потери — на 10-15%; разубо-

живание руды — в 1,2-1,3 раза; повысить производительность на выпуске горной массы на 25%; содержание полезного ископаемого в 1,2-1,4 раза. Подтвержденный экономический эффект от внедрения результатов работы на горнорудных предприятиях за период с 2016 по 2022 гг. составил более 1,5 млрд рублей, и объемы добычи по разработанным технологиям превысили 40 млн т руды. Ожидаемый экономический эффект составит 15 млрд рублей, объем добычи — 150 млн т руды.