

УДК 622.272.06:622.627.2

**И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.Г. Антипин,
И.В. Никитин, К.В. Барановский**

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ И ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДЗЕМНОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМОХОДНОЙ ТЕХНИКИ НА УРАЛЬСКИХ РУДНИКАХ*

Сформулированы основные направления совершенствования технологии подземной разработки на основе применения самоходного оборудования. Разработаны и внедрены технические и технологические решения, позволяющие повысить эффективность подземной и комбинированной разработки ряда уральских месторождений.

Ключевые слова: самоходное оборудование, вскрытие месторождения, система разработки, медноколчеданное месторождение.

Одним из основных направлений развития подземной геотехнологии является использование самоходного оборудования (СО). Разнообразии предлагаемого СО и широкий диапазон его типоразмеров позволяют выбрать наиболее оптимальные комплексы для любых условий разработки. Следует отметить, что происходит постоянное совершенствование самоходной техники по пути увеличения мощности, грузоподъемности и производительности, замены двигателей внутреннего сгорания на электропривод, использования дистанционного управления, в том числе автоматизированными системами с поверхности.

Вместе с тем эффективное применение СО невозможно без соответствующей модернизации как отдельных технологических процессов, так и ва-

риантов вскрытия и систем разработки в целом, основными направлениями которой можно считать:

1. В области вскрытия и подготовки месторождений:

— вскрытие запасов штольнями и автоуклонами с соответствующим увеличением области и масштабов применения автомобильного транспорта для транспортирования и подъема руды. Особенно эффективно это решение при комбинированной разработке в случае использования пространства карьера для сокращения длины уклонов и применения для подъема руды на поверхность карьерных дорог и автосамосвалов, а в перспективе и новых видов универсальных (в том числе шахтных) транспортных средств;

— при обработке наклонных рудных залежей целесообразен переход

*Работа выполнена при поддержке программы ОНЗ РАН № 3 «Фундаментальные проблемы и перспективы использования потенциала комплексного освоения недр на основе развития ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих технологий» (12-Т-5-1021).

от погоризонтной схемы подготовки запасов к пространственно-объемной.

2. В области систем разработки:

— применение восходящего порядка отработки этажа или всего месторождения с заменой твердеющей закладки на сухую или гидравлическую, в том числе с использованием хвостов обогащения и пород от проходки выработок;

— увеличение размеров камер выемочных единиц с сокращением количества буровых подэтажей путем применения более мощных буровых и погрузо-доставочных машин (ПДМ);

— создание простых конструкций днищ блоков, обеспечивающих безопасность выпуска и эффективные показатели извлечения, особенно при системах с массовым обрушением и площадным выпуском руды;

— использование в системах разработки с закладкой конструктивных элементов из других классов, например, формирование рудных предохранительных целиков с целью снижения разубоживания;

— переход на системы с обрушением (что особенно актуально в посткризисный период) там, где использование систем с закладкой не вызывается необходимостью выполнения требований экологической и промышленной безопасности. Так, предварительные технико-экономические расчеты показали, что для условий Полярного Урала экономически целесообразно применение систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород;

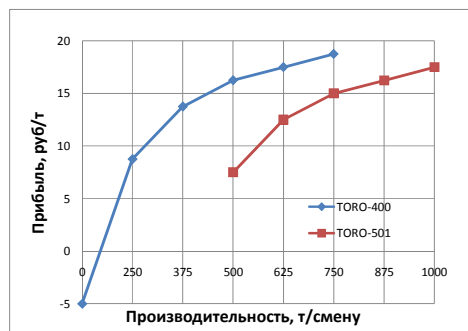
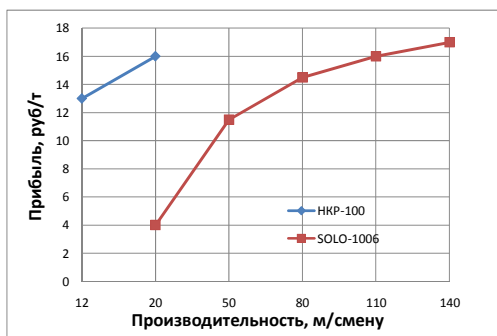
— при выборе систем разработки применение СО как на основных процессах добычи руды (проходка выработок, бурение скважин, погрузка и доставка руды), так и на вспомогательных (крепление, дос-

тавка материалов и т. д.) должно являться принципиальным положением. Однако, следует отметить, что переход на СО, обеспечивает необходимый эффект только при одновременном повышении производительности труда на всех процессах очистной выемки.

Одной из первоочередных задач является объективный выбор комплексов СО для конкретного предприятия путем оптимизации. На основании методологии системного подхода предложены критерий оценки (прибыль на 1 т балансовых запасов), экономико-математическая модель (ЭММ) и программа выбора комплексов СО для условий подземной разработки медноколчеданных месторождений Урала [1]. Рассмотренные технологические и методологические положения легли в основу технических решений, разработанных для ряда уральских рудников.

Гайское медноколчеданное месторождение разрабатывается по этажно-камерной системе с твердеющей закладкой. Производственная мощность рудника 5,6 млн. т руды/год обеспечивается применением на очистных работах СО - буровых станков типа *SOLO* и НКР-100М, ПДМ типа *TORO*, и автосамосвалов типа *EJC533*, *MoA3-7405*.

На основе ЭММ проведено сравнение трех комплексов СО [1]: НКР-100М + *TORO-400*; *Solo-1006* + *TORO-400*; *Solo-1006* + *TORO-501*. Установлены области экономически целесообразного применения СО: применение *Solo-1006* эффективнее НКР-100 при производительности на бурении более 80 м/смену; *TORO-501* эффективнее *TORO-400* при производительности на доставке выше 1000 т/смену (рис. 1).



а)

б)

Рис. 1. Зависимость прибыли по системе разработки от: а) производительности бурового станка и б) производительности ПДМ

При освоении нижних горизонтов месторождения планируется увеличить мощность рудника до 7 млн. т/год за счет применения ярусного способа вскрытия и разработки. Отработка верхнего и нижнего ярусов производится независимо друг от друга за счет оставления временного междуярусного целика (МЯЦ) в этаже 830/910 м, отрабатываемого в последнюю очередь. Специфическими факторами и условиями его отработки являются: повышенное горное давление из-за полной подработки нижележащим этажом 910/990 м и надработки вышележащим этажом 750/830 м; наличие закладочного массива в почве и кровле камер; наличие неустойчивых вмещающих пород мощностью от 2 до 20 м, которые при подработке обрушаются в очистное пространство камер, увеличивая потери и разубоживание руды [2].

В результате ЭММ установлено, что наиболее рациональным является

вариант подэтажно-камерной системы разработки двумя подэтажами разной высоты (рис. 2). В первую очередь вынимается верхний подэтаж 830/884 м высотой 54 м, а затем нижний – 884/910 м высотой 26 м. Выпуск и доставка руды из камер осуществляется на горизонтах 884 и 910 м. При этом верхний подэтаж отрабатывается по традиционной технологии с траншейным днищем и площадным выпуском. Нижний подэтаж, находящийся в более сложных геомеханических условиях, вынимается

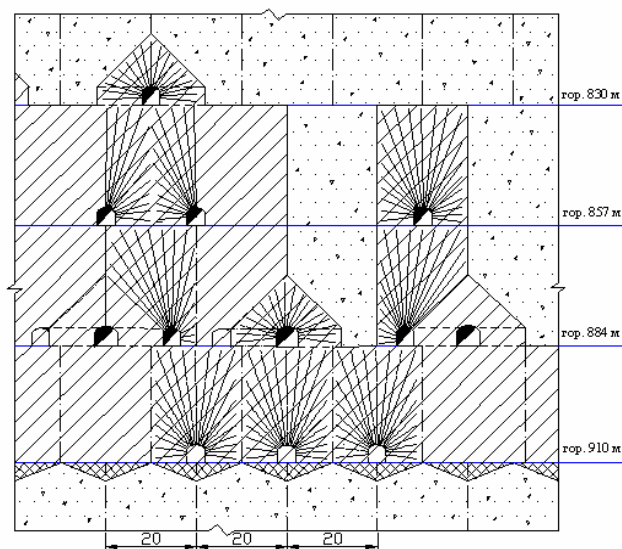


Рис. 2. Подэтажно-камерная система разработки МЯЦ

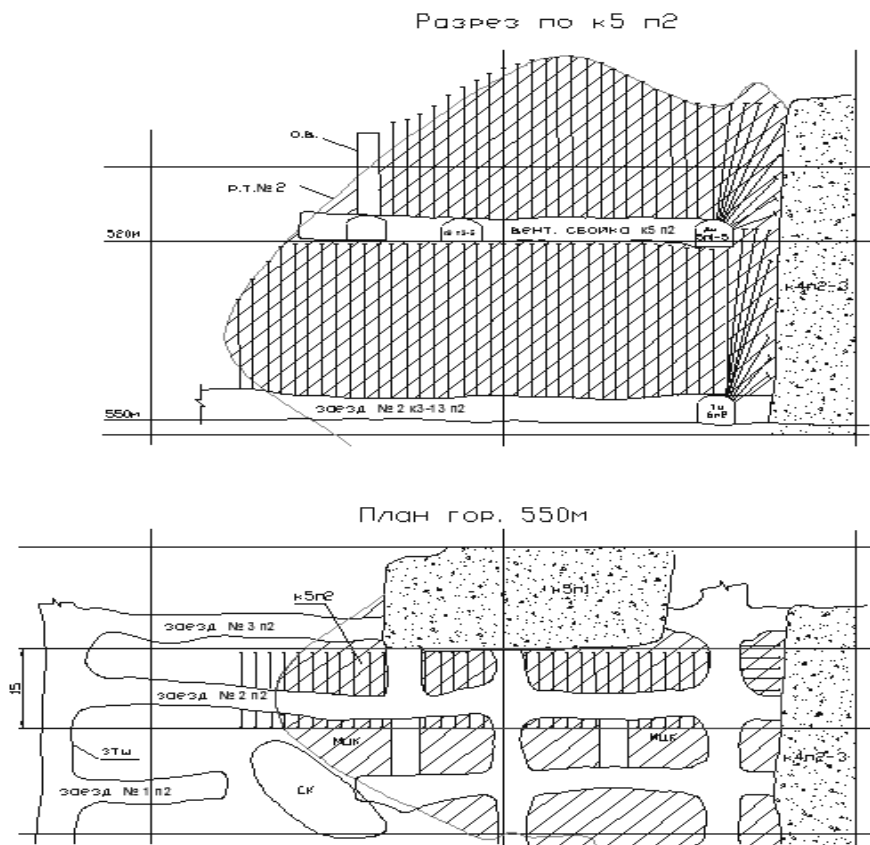


Рис. 3. Этажно-камерная система разработки камеры 5 панели 2

сплошным порядком камерами минимальной высоты с плоским днищем и торцовым выпуском руды, что позволяет интенсифицировать его отработку. Для интенсификации отработки МЯЦ планируется использовать на выпуске и доставке мощные ПДМ типа CAT R2900G грузоподъемностью 17,2 т.

Условием успешного применения данного варианта является заблаговременное и целенаправленное создание днищ камер в этаже 830/910 м под использование СО путем формирования кровли обрабатываемых камер нижележащего этажа 910/990 м.

Узельгинское медноколчеданное месторождение разрабатывается подземным рудником с годовой производительностью 2,5 млн т руды в год. Для отработки рудного тела № 2 в этажах 490/550 м и 550/610 м применяется подэтажно-камерная система разработки с твердеющей закладкой и сплошным порядком отработки. Сущность технологии состоит в том, что рудное тело разбивается на панели шириной 45 м (соответствует длине камер), камеры шириной 10 м располагают длинной стороной по простиранию рудного тела и отработывают в сплошном порядке, начиная

от центра к флангам рудного тела. Днище формируется траншейного или плоского типа. Расстояние между осями погрузочных заездов равно 15 м. Послойная отбойка производится веерами скважин диаметром 89 мм. Для бурения скважин применяют буровые станки типа Solo. Выпуск руды производится с помощью ПДМ типа TORO-400 и TORO-501 через погрузочные заезды с перегрузкой руды в автосамосвалы типа CAT грузоподъемностью 40-50 т или МоАЗ грузоподъемностью 20 т. При плоском днище используют ПДМ с дистанционным управлением. С 2010 года на выпуске и доставке руды эксплуатируют 21-тонные ПДМ Caterpillar 2100 с емкостью ковша 10 м³.

С целью повышения безопасности и эффективности горных работ проведены опытно-промышленные испытания (ОПИ) технологии выемки камеры 5 панели 2 в этаже 490/550 м с увеличенной шириной до 15 м и высотой до 60 м и расположением вкрест простирания рудного тела (рис. 3). Анализ результатов ОПИ позволил сделать следующие выводы:

— расположение камеры длинной стороной вкрест простирания рудного тела повысило устойчивость конструктивных элементов системы разработки. Увеличение ширины камеры с 10 до 15 м не повлияло на устойчивость конструктивных элементов системы разработки;

— в результате увеличения объема камеры удельный объем нарезных работ снизился в 1,4 раза;

— технология ОПИ (подэтажная отбойка, выполнение сейсмотехнических мероприятий) и параметры БВР (удельный расход ВВ 2,02 кг/м³)

обеспечили как устойчивость кровли и стенок камеры, выпускных и доставочных выработок по сейсмическому действию массовых взрывов, так и удовлетворительное качество дробления руды, гранулометрический состав и выход негабарита;

— хорошее качество дробления руды и удовлетворительный выход негабарита (7 %) обеспечили высокую производительность комплекса СО на выпуске и доставке – до 50,0 тыс. т/месяц;

— величины потерь 3,7% и разубоживания 12,3 % соответствуют проектным;

— закладочная смесь подавалась в выработанное пространство камеры, частично заполненное пустыми породами. Время проведения закладочных работ 2 мес. соответствовало проектному;

— достигнутые ТЭП (производительность труда рабочего на очистных работах 12,7 м³ (59,7 т)/ чел.-смену) соответствуют лучшим отечественным аналогам.

Разработанная схема подготовки и нарезки, технология и параметры БВР и в целом вариант системы разработки с частичным самообрушением пород кровли и последующей твердеющей закладкой с расположением камер шириной 15 м вкрест простирания рудного тела признаны рациональными.

Молодежное медноколчеданное месторождение к 2004 году было отработано карьером до предельной глубины 260 м. ИГД УрО РАН выполнено ТЭО (проект) доработки запасов подземным способом, в котором обоснованы вариант вскрытия и технология разработки месторождения [3]. Технико-экономическая оценка вариантов вскры-

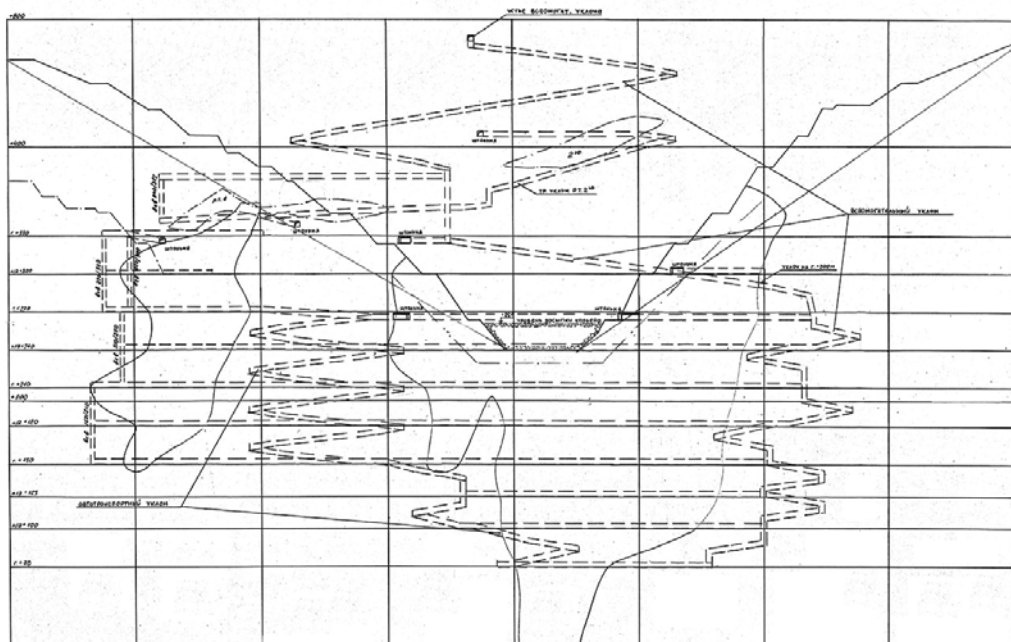


Рис. 4. Схема вскрытия Молодежного месторождения

тия показала, что вскрытие автотранспортным уклоном, пройденным из карьера под углом 7° , и вспомогательным уклоном с поверхности под углом $7^\circ-9^\circ$, и штольнями является предпочтительным по стоимости горно-капитальных работ и сроку ввода рудника в эксплуатацию в сравнении с традиционным вскрытием вертикальными стволами (рис. 3). Транспортирование руды в карьер осуществляется шахтными автосамосвалами TORO-35, MT-50 и EJC-20. Перегрузочный пункт из шахтного в карьерный транспорт оборудован в карьере вблизи устья автоуклона, используется экскаватор ЭКГ-4,6. На поверхность руда вывозится самосвалами БелАЗ-7540 (рис. 4). Рудное тело №1 отрабатывается поэтажно-камерной системой с твердеющей закладкой с применением бу-

ровых станков SOLO-1007 и ПДМ типа TORO-400.

Использование карьера в качестве главной вскрывающей выработки, позволило повысить эффективность разработки месторождения за счет снижения стоимости ГКР, срока строительства и ввода рудника на 22 месяца и поэтапное (поэтажное) вовлечение запасов в эксплуатацию. Кроме этого, эксплуатация месторождения по проектному варианту вскрытия и разработки позволило нарастить производственную мощность с 400 до 650 тыс. т без дополнительных инвестиций.

Саткинское месторождение магнетита подземным способом разрабатывается шахтой «Магнетитовая». Применение на добыче СО логично привело к использованию автоса-

мосвалов для транспорта руды непосредственно из добычных забоев через штольню в карьер.

Добыча руды производится камерно-столбовой системой разработки с сухой закладкой выработанного пространства. Отработка блока ведется снизу вверх горизонтальными слоями высотой 4–5 м с регулярным оставлением ленточных целиков с просечками на всю высоту этажа 80 м. Отбойка руды производится горизонтальными шпурами, буримыми установками *BOOMER 282*. Погрузка и доставка руды осуществляется ПДМ *ST-1030*. Сухая закладка подается с поверхности по закладочным восстающим и развозится по блоку автосамосвалом *MoA3 75291*. Преимуществом варианта является обеспечение селективности выемки различных марок магнезита, сохранение земной поверхности, небольшой удельный объем ПНР, простота размещения закладки, небольшое засорение. Основным недостатком камерно-столбовой системы является повышенная величина потерь (порядка 30 %). Вследствие этого была предложена система горизонтальных слоев с твердеющей закладкой, позволяющая сократить потери магнезита до 5–8 % [4]. Внедрение системы сдерживается необходимостью строительства закладочного комплекса.

Доработка оставшихся в западном борту карьера запасов подземным способом возможна сплошной камерной системой разработки с заполнением выработанного пространства сухой закладкой. Магнезит здесь залегает в виде пластообразной залежи мощностью 7–10 м с углом падения около 25°. Вскрытие блока осуществляется по пространственно-объемной

схеме штольнями из карьера и автотранспортным уклоном в лежачем боку. Автоуклон соединяется заездами с каждым добычным слоем. Остальные вскрывающие и подготовительные выработки также проходятся с наклоном, что позволяет сократить объем ПНР примерно на 30% по сравнению с традиционной погоризонтной схемой вскрытия.

Разработка глубоких горизонтов Естюнинского железорудного месторождения связана с необходимостью увеличения производительной мощности рудника до 4 млн.т руды в год. Сложность отработки заключается в том, что значительная часть запасов находится в охранной зоне поселка, реки Баранча и автомагистрали и может быть осуществлена только с закладкой выработанного пространства. В рамках технологического регламента предложен восходящий порядок отработки месторождения с заполнением выработанного пространства гидравлической и сухой закладкой. Добыча руды производится этажно-камерной системой разработки с применением СО: ПДМ *TORO-500D*, буровых станков *Solo1009RZ* и автосамосвалов *MoA3*. Для обеспечения устойчивости пород всяческого бока и сохранения поверхности предусмотрено оставление барьерных целиков [5].

Кыштымское месторождение является единственным в России крупным эксплуатируемым месторождением высокоценного гранулированного кварца. Кварцевая жила средней мощности 12 м и углом падения 30° залегает среди устойчивых вмещающих пород. Верхняя часть месторождения отработана карьером до

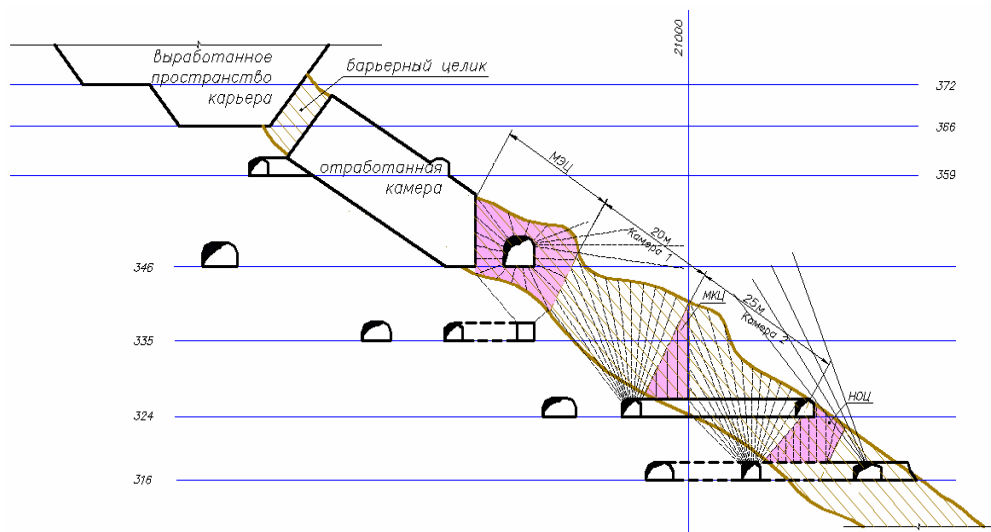


Рис. 4. Камерная выемка с последующим обрушением целиков

глубины 94 м. Подземные запасы вскрыты штольной, транспортным уклоном и фланговыми вентиляционными восстающими.

ИГД УрО РАН запроектирована выемка подкарьерных запасов камерно-целиковой системой разработки с взрыводоставкой руды в пределах камеры и применением на выпуске и транспортировании ПДМ ПД-5. Применение данной технологии позволило сформировать барьерный целик, изолирующий подземные горные работы от карьера, осуществить быстрый ввод рудника в эксплуатацию и переход на подземные горные работы с минимальными капитальными и эксплуатационными затратами. В настоящее время осуществляется доработка запасов подэтажа 346/366 м. Однако, камерно-целиковой системе присущи высокие потери руды – до 28 %. В связи с этим разработан технологический регламент отработки запасов в этаже 346/316 м, в котором обоснована камерная система

разработки с последующим обрушением и выемкой целиков (рис. 4). При этом камерами вынимается более 70 % запасов.

Технология заключается в отбойке на первом этапе камерных запасов зарядами диаметром 65 мм и последующей массовой отбойке МЭЦ и МКЦ зарядами диаметром 105 мм.

Выпуск и транспортирование руды из забоя на поверхность производится с помощью ПДМ ST-3.5 грузоподъемностью 6 т. Выработанное пространство погашается путем принудительного обрушения пород висячего бока [6]. Внедряемая технология отработки этажа 346/316 м позволяет снизить потери до 10% и обеспечить увеличение производственной мощности рудника в 3 раза. Использование СО, кроме комфортных условий труда забойных рабочих, обеспечивает: механизацию технологических процессов; технологичность (простоту и надежность) формирования траншейного

днища блоков, обеспечивающей безопасность выпуска и рациональные показатели извлечения; высокую производительность и эффективность добычи.

Таким образом, внедрение технических и технологических решений,

разработанных на основе сформулированных направлений совершенствования технологии подземной разработки с использованием СО, позволяет существенно повысить эффективность освоения уральских рудных месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков Ю.В., Соколов И.В. Выбор комплексов самоходного технологического оборудования // Изв. вузов. Горный журнал. – 2005. – № 2. – С.3-6.
2. Волков Ю.В., Соколов И.В., Антипин Ю.Г. Обоснование технологии отработки междурусного целика при освоении Гайского медноколчеданного месторождения // Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 2010. – № 3. – С.4-10.
3. Волков Ю. В., Соколов И.В., Камаев В.Д. Проектные решения по доработке Молодежного месторождения подземным способом//Горный журнал. 2004.- № 6-С. 37-40.
4. Волков Ю.В., Смирнов А.А., Соколов И.В., Антипин Ю.Г. Выбор системы разработки месторождения магнетитов в поле шахты «Магнетитовая» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – №2. – С. 356 – 361.
5. Волков Ю.В., Соколов И.В., Смирнов А.А. Направление развития технологии при отработке глубоких горизонтов Естюнского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 7. – С. 253-255.
6. Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Барановский К.В. Изыскание рациональной технологии отработки наклонного месторождения ценного кварцевого сырья // Проблемы недропользования: Материалы V Всероссийской Молодежной научно-практической конференции. – Екатеринбург: УрО РАН - 2011. – С. 196 – 204. **ИДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Соколов Игорь Владимирович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией,
Антипин Юрий Георгиевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Смирнов Алексей Алексеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Барановский Кирилл Васильевич – ведущий инженер, аспирант,
Никитин Игорь Владимирович – аспирант, младший научный сотрудник,
Лаборатория подземной геотехнологии, Институт горного дела УрО РАН, geotech@igduran.ru

