

УДК 622.275

Антипин Юрий Георгиевич

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией
подземной геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН,
620075 г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: geotech@igduran.ru

Барановский Кирилл Васильевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
лаборатория подземной геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН

Рожков Артем Андреевич

кандидат технических наук,
научный сотрудник,
лаборатория подземной геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН

Клюев Максим Владимирович

лаборант,
лаборатория подземной геотехнологии,
Институт горного дела УрО РАН

**ОБЗОР КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ
ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ****Аннотация:*

Рассматривается опыт проектирования и применения комбинированных систем подземной разработки при освоении рудных месторождений. Комбинированные системы в практике горнодобывающих предприятий могут применяться при любых условиях залегания рудных тел по мощности и углу падения. Добываемые руды характеризуются, как правило, достаточно высокой ценностью и/или стратегической направленностью своего дальнейшего использования. Основные причины перехода к комбинированным технологиям подземной добычи также весьма разнообразны и чаще всего взаимосвязаны: повышение эффективности добычи за счет улучшения показателей извлечения, интенсивности отработки запасов; управление геомеханическим состоянием массива; снижение себестоимости добычи; соображения экологии и безопасности, прежде всего связанные с условиями обводненности месторождений, склонности руд к самовозгоранию и утилизации максимально возможного объема отходов горнодобывающего производства в пустотах недр.

Ключевые слова: рудные месторождения, подземная геотехнология, комбинированная система разработки, потери и разубоживание, системы с обрушением, системы с закладкой, системы с магазинированием, обводненность месторождения, себестоимость добычи

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.03.005

Antipin Yury G.

Candidate of Technical Sciences,
Head of the laboratory
of underground geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: geotech@igduran.ru

Baranovsky Kirill V.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher at laboratory of underground
geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

Rozhkov Artem A.

Candidate of Technical Sciences,
Researcher at laboratory
of underground geotechnology,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS

Klyuyev Maxim V.

Assistant at laboratory
of underground geotechnology,
Institute of Mining, Ural branch of RAS

**OVERVIEW OF COMBINED
UNDERGROUND MINING SYSTEMS
FOR ORE DEPOSITS***Abstract:*

The article considers the experience of designing and using combined underground mining systems of ore deposits. The use of combined systems in the practice of mining enterprises covers all the conditions of occurrence of ore bodies in terms of power and angle of incidence. The extracted ores are characterized, as a rule, by a rather high value and / or strategic orientation of their further use. The main reasons for the transition to combined underground mining technologies are also very diverse and, most often, interrelated. These are: increase in production efficiency due to improved extraction rates and reserves mining intensity; management of the geomechanical state of the massif; reduction in production costs; environmental and safety considerations, primarily related to the conditions of water cut in deposits and to the tendency of ores to spontaneously ignite; and utilizing the maximum possible volume of mining waste in subsoil cavitations.

Key words: ore deposits, underground geotechnology, combined mining system, losses and dilutions, caving systems, systems with filling, shrinkage systems, water cuts, production costs.

* Исследования выполнены в рамках Госзадания №075-00581-19-00, тема №0405-2019-0005

Введение

Эффективность системы подземной разработки рудного месторождения зависит от того, в какой мере принятая система позволяет достичь высокой полноты выемки полезного ископаемого при низком разубоживании, а также обеспечить безопасность работ и снижение вредного воздействия на окружающую среду [1]. В специфических условиях, когда обособленно ни одна из систем подземной разработки не обеспечивает необходимого эффекта, применяют комбинированные системы, сочетая в пределах одного блока или участка месторождения несколько различных технологических схем. При этом важно, что использование комбинированных систем предполагает не простое сочетание и совместное применение двух самостоятельных систем разработки, но их неразрывную конструктивную связь, при которой систему разработки блока в целом нужно рассматривать как единую новую систему [2].

Особенности комбинированных систем разработки

По определению чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунова [3] комбинированная система разработки рудных месторождений (КСР) – порядок работ, при котором подготовленные по единой схеме блоки, разделенные на камеры и целики, отрабатывают с применением различных систем. Обычно комбинирование систем осуществляют при двухстадийной выемке, причем во время первой стадии, часто являющейся наиболее трудоемкой, создаются благоприятные условия для последующей отработки.

Практическая особенность КСР заключается в том, что соединение конструктивных особенностей двух систем в одну комбинированную позволяет расширить область ее применения по сравнению с каждой из составляющих систем и получить более высокие технико-экономические показатели, которые в данных горно-геологических условиях для каждой системы в отдельности недостижимы [4]. Нельзя рассматривать КСР как случай совместного применения на руднике двух самостоятельных систем разработки. Подготовка, нарезка и очистная выемка в камере и междукамерном целике (МКЦ), составляющих вместе выемочный блок, взаимосвязаны, конструктивно неделимы и технологически едины [2].

При отработке мощных рудных тел КСР применяются в случаях, когда не может быть обеспечена их эффективная разработка с помощью одной системы. При этом этаж делят на регулярно чередующиеся близкие по ширине камеры, целики и междукамерные целики, располагаемые, как правило, длинной стороной вкрест простирания рудного тела. Ширина камер – 8 – 30 м, МКЦ – 6 – 20 м. Соотношение запасов в камерах и МКЦ колеблется в среднем от 1:1 до 2:1 [5].

При отработке рудных тел малой и средней мощности применение КСР в основном обусловлено их пологим либо наклонным углом падения ($0 - 45^\circ$), при котором практически невозможно обеспечить приемлемые показатели извлечения применением одной системы разработки [6 – 7].

Технико-экономические показатели КСР зависят от сочетания классов систем разработки, применяемых на первой и второй стадиях отработки блока. КСР делятся на три основные группы [2]:

- I группа. КСР с открытыми камерами. Выемка камер с помощью какого-либо из вариантов систем с подэтажной или этажной выемкой. МКЦ отрабатываются этажным или подэтажным обрушением.
- II группа. КСР с закладкой. Камеры по мере очистной выемки заполняются закладочным материалом. МКЦ, окруженный с двух сторон закладкой, отрабатывается с обрушением или реже системами с креплением или закладкой.
- III группа. КСР с магазинированием руды. МКЦ вынимают в окружении замагазинированной руды (по мере ее выпуска) путем послонного расстреливания целика сверху вниз или массового обрушения с подсечкой снизу.

Ряд исследователей понимает под КСР не только совмещение двух классов систем в границах одного добычного блока, но и комбинирование отдельных их элементов [8, 9].

Опыт применения и проектирования КСР полиметаллических месторождений

Иртышский полиметаллический рудник отрабатывает часть одноименного месторождения медно-цинковых руд. Рудные тела отличаются резко изменяющейся мощностью (от нескольких сантиметров до 10 – 15 м) с углами падения от 15 – 40 до 60 – 80° и глубиной залегания от 30 до 500 м. Проектная мощность предприятия – 0,7 млн т руды, годовой фактический объем выпускаемой продукции на 2015 г. – 0,65 млн т руды. При отработке запасов месторождения применялись следующие системы разработки: подэтажные штреки, горизонтальные слои с твердеющей закладкой, этажное обрушение [10]. Интересен опыт применения рудником КСР – системы с закладкой камер и выемкой целиков слоевым обрушением. Данное решение связано с тем, что применение только слоевого обрушения в связи с пожароопасными рудами могло привести к возникновению эндогенного пожара. Чередование участков, вырабатываемых слоевым обрушением, и широких зон, заложенных пустой породой, позволило значительно понизить пожароопасность [11].

Для месторождений *Норильской группы*, представленных пологими пластообразными залежами (8 – 10°) значительной мощности (более 20 м), с целью распространения менее затратных геотехнологий с обрушением на больших глубинах коллективом авторов из ИГД СО РАН разработаны КСР с различными сочетаниями технологических решений [12, 13].

Предложена КСР с отработкой первичных панелей системами с твердеющей закладкой, а вторичных – с обрушением. В зависимости от горно-геологических условий отработка участка с закладкой может осуществляться слоевыми или камерными системами, погашение временных рудных целиков – подэтажным или этажным обрушением [12]. Подготовка временного рудного целика осуществляется проведением в его границах этажных (подэтажных) буро-доставочных (в почве) и буро-вентиляционных (в кровле) ортов. Выемка запасов целика производится на второй стадии послышной отбойкой руды веерами восходящих скважин с торцовым выпуском ее из буро-доставочных выработок. Принудительное обрушение пород кровли осуществляется только в пределах целика, без нарушения их над заложенными панелями. Данная технология препятствует выходу обрушения на земную поверхность за счет того, что ширина участков, отрабатываемых с обрушением так, чтобы развитие зоны обрушения затухало за счет самоподбучивания обрушаемых пород кровли [13].

Также предложена КСР, основанная на сочетании камерно-столбовой выемки и систем с обрушением, позволяющая интенсифицировать добычные процессы, повысить качество и полноту извлечения запасов (рис. 1) [14]. На границах блока по кровле и почве рудного тела проходятся вентиляционно-доставочные выработки, между которыми камерно-столбовой выемкой формируется верхняя и нижняя подсечки. Образованная между ними рудная консоль и налегающие породы поддерживаются временными столбчатыми целиками. Отбойка рудной консоли ведется под предварительно обрушенными налегающими породами.

Особенностью условий применения рассмотренной КСР является селективная выемка трех типов минерального сырья, залегающего в почве, кровле и центральной части рудного тела, различающихся по вещественному составу, обогатимости и ценности.

Для управления состоянием массива при вовлечении в отработку ранее подработанных руд *Талнахского месторождения* О.З. Габараевым разработана КСР с подачей закладочной смеси на замагазинированную руду (рис. 2) [15].

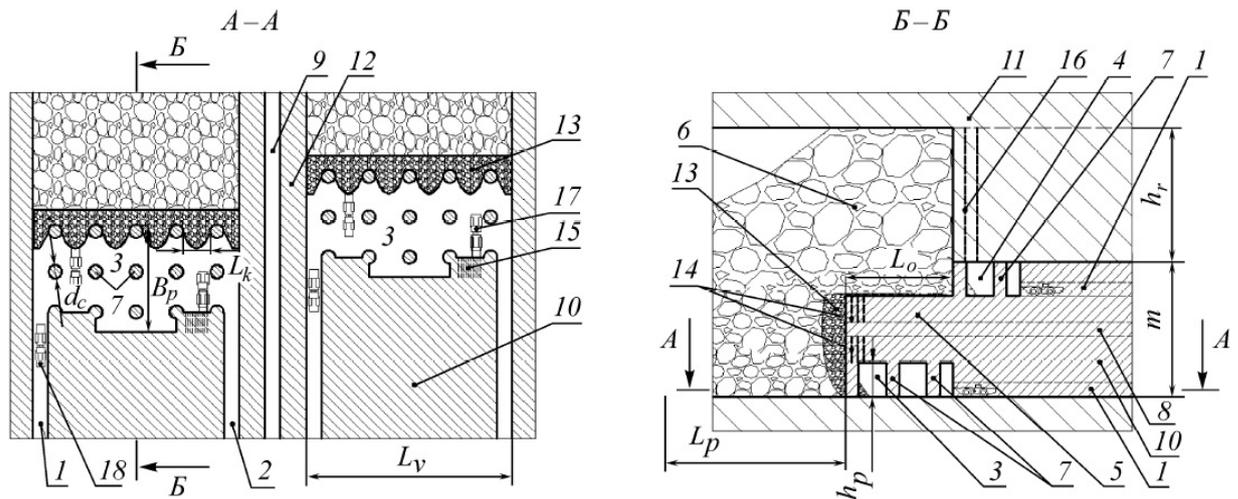


Рис. 1 – КСР, сочетающая камерно-столбовую выемку и систему с обрушением:
 1 – доставочный штрек; 2 – вентиляционный штрек; 3 – нижняя подсечка; 4 – верхняя подсечка; 5 – рудная консоль; 6 – обрушенные породы; 7 – временные столбчатые целики; 8 – подэтажный буровой штрек; 9 – буро-доставочный штрек панельного целика; 10 – рудная залежь; 11 – вмещающие породы; 12 – панельный целик; 13 – отбитая руда; 14 – скважины; 15 – шпур; 16 – скважины для посадки породной кровли; 17 – буровая каретка; 18 – ПДМ

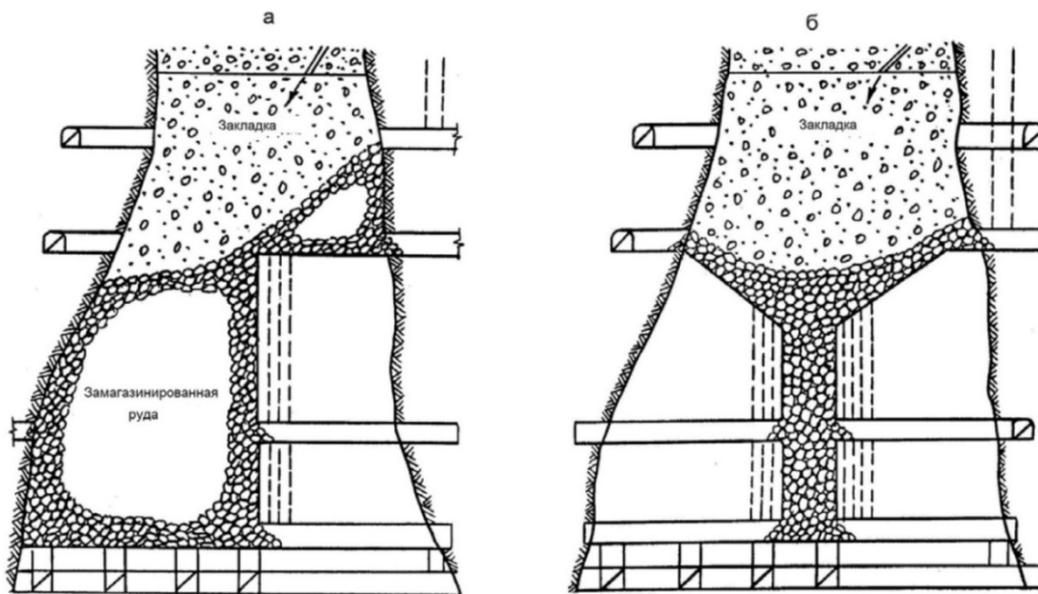


Рис. 2 – КСР, сочетающая системы с магазинированием руды и закладкой:
 а, б – отработка запасов по фланговой и центральной схемам

Отработку ведут с разделением камеры по высоте на две стадии. Сначала производится выемка верхней части камеры, при этом с некоторым отставанием начинается отработка нижней части камеры. Нижнюю часть камеры обрабатывают с магазинированием руды, тем самым обеспечивая поддержание устойчивости стенок камеры во время выемки. Устойчивость верхней части повышается за счет интенсивной закладки выработанного пространства. Глубина просачивания закладочной смеси не превышает 0,5 – 0,6 м, а при выпуске руды из-под закладочного массива большая часть отбитой руды отслаивается по контакту с закладкой. Технология эффективна при ведении очистных работ в неустойчивых вмещающих породах.

В условиях *Жезказганского месторождения* для рудных тел мощностью 15 - 20 м и углом залегания 30° основной технологией подземной добычи предложена

КСР, основанная на применении камерно-столбовой системы, обеспечивающей выемку максимального объема «чистой» руды и создание при этом подсечного пространства для принудительной посадки кровли. На второй стадии применяют систему поэтажного обрушения для выемки МКЦ и нижней части рудной залежи (рис. 3) [16].

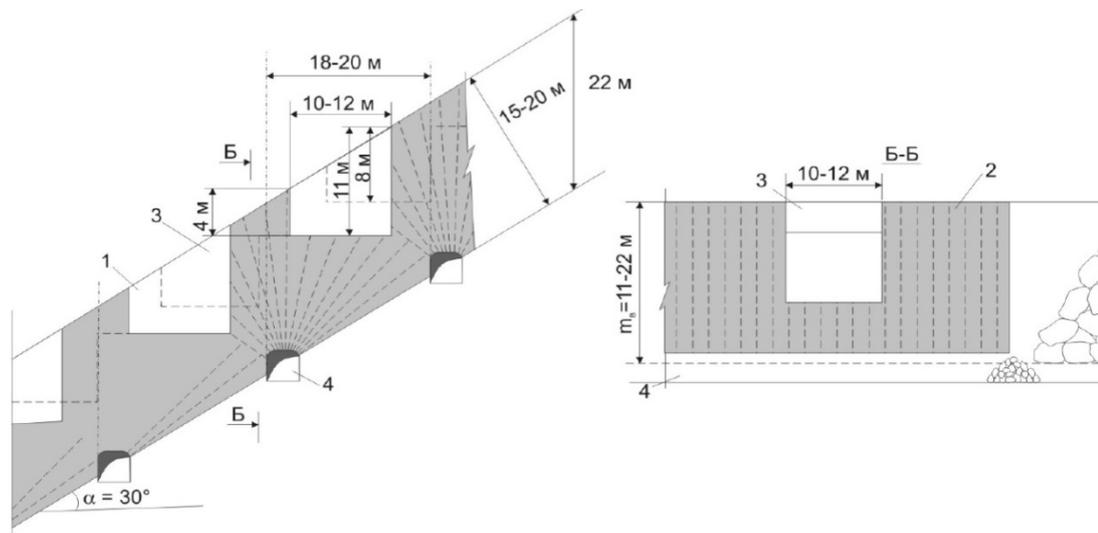


Рис. 3 – КСР, основанная на сочетании камерно-столбовой системы разработки и поэтажного обрушения:

1 – камера; 2 – МКЦ; 3 – вентиляционная сбойка; 4 – буро-доставочный штрек

В качестве примера комбинирования отдельных элементов систем разработки без четкого разделения на камеры и целики Г.Г. Пироговым предложена КСР с открытым выработанным пространством и отбойкой руды в зажиме [8]. Основой предлагаемой КСР является система поэтажных штреков. На поэтажах отбойку предлагается осуществлять в зажиме, что возможно в случае почвоуступной выемки. На уступах в процессе торцового выпуска формируется навал руды высотой, равной высоте поэтажа. Таким образом, с одной стороны используются преимущества систем разработки с открытым очистным пространством, а именно снижение уровня разубоживания, с другой – отбойка руды в зажиме позволяет значительно повысить качество дробления.

Опыт применения и проектирования КСР железорудных месторождений

Соколовское месторождение – одно из крупнейших в Тургайской железорудной провинции, представлено рудовмещающей толщей мощностью 400 – 600 м, в которой по условиям залегания, форме и строению прослеживаются два участка: южный, состоящий из единого рудного тела мощностью до 200 – 250 м, и северный, сложенный сравнительно небольшими рудными телами, разобценными прослоями пустых пород [17].

Для отработки Соколовского месторождения были приняты системы разработки с обрушением. В связи с обводненностью была запроектирована дренажная система по осушению меловых песков над месторождением. Однако в связи с тем, что к моменту сдачи рудника в эксплуатацию не удалось осушить меловые пески (столб воды в песках составил 15 – 21 м), было принято решение о переходе на системы разработки с закладкой выработанного пространства [18].

С развитием горных работ остаточный напор в обводненных горизонтах существенно снизился, что создало предпосылки к переходу на более производительные и экономичные системы разработки с обрушением. ИГД МЧМ СССР (ныне – ИГД УрО РАН) был предложен поэтапный переход на системы с обрушением с применением в

переходный период КСР, содержащей элементы системы с закладкой и системы с обрушением.

Рудное тело, расположенное под горизонтом обводненных пород, отрабатывается этажно-камерной системой с закладкой выработанного пространства твердеющей смесью. Выемку ведут вниз по падению, при этом верхние этажи отрабатывают последовательно, после чего оставляют междуэтажный целик (МЭЦ), равный высоте этажа. Следующий этаж под МЭЦ отрабатывают с закладкой. После набора закладкой данного этажа нормативной прочности приступают к отработке вышележащего МЭЦ системой с обрушением. В это время продолжают отработку нижележащих горизонтов с применением закладки. По простиранию этаж делят на панели, на границах которых отрабатывают одиночные камеры с закладкой. Затем отрабатывают панели с обрушением. Искусственные целики, во-первых, играют роль аварийных перемычек на случай прорыва воды или рыхлых обводненных пород. Во-вторых, одиночные искусственные массивы ограничивают зоны обрушения по простиранию, что замедляет или устраняет развитие зоны обрушения по высоте.

Для условий участка богатых руд *Яковлевского железорудного месторождения* горизонтальной мощностью до 90 м и углом падения 60 – 70°, представленного рыхлыми железно-сланцевыми мартитовыми рудами, в работах В.П. Зубова и А.А. Антонова [19, 20] предложена КСР, основанная на совмещении систем с твердеющей закладкой и самообрушением руды. Участок залежи разделяется на два подэтажа. Верхний подэтаж, по высоте значительно уступающий нижнему, отрабатывается в опережающем порядке. Нижний подэтаж, разбиваемый на блоки, отрабатывается с самообрушением, путем формирования подсечки (рис. 4).

Данная комбинация позволяет повысить технико-экономические показатели за счет использования негативного при применении только одной из систем фактора – неустойчивых руд. При этом издержки на отработку нижнего подэтажа снижаются до минимально возможных при подземном способе добычи. Сформированная в верхнем подэтаже искусственная кровля служит для защиты от прорыва вод налегающего водонесного горизонта и предотвращает разубоживание от пород висячего бока.

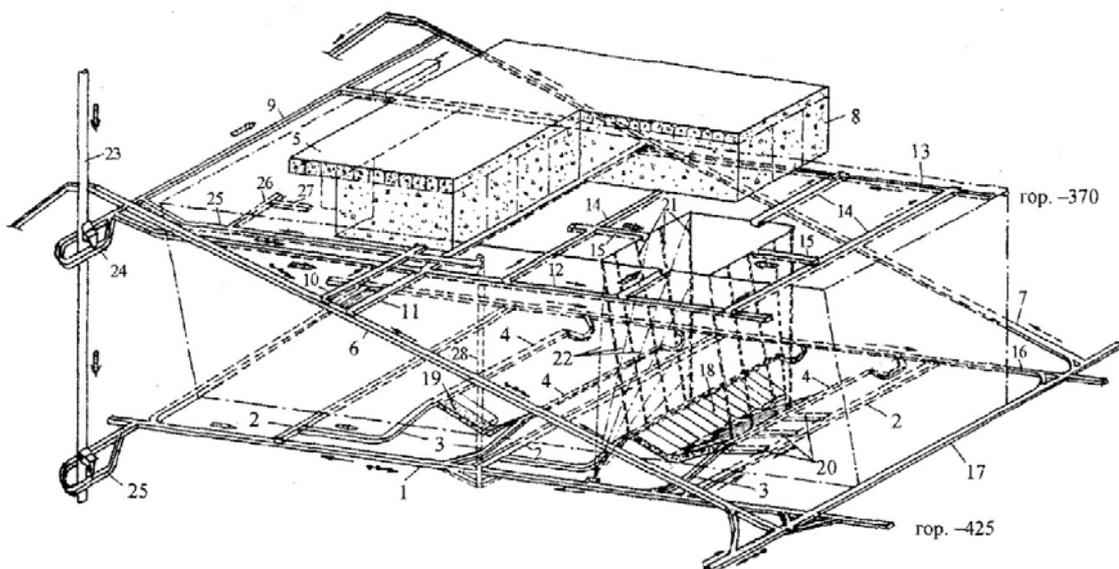


Рис. 4 – КСР с отработкой основных запасов блока системой самообрушения руды под искусственной кровлей, сформированной системой разработки с твердеющей закладкой [19, 20]

Валуевское месторождение магнетитовых руд отрабатывалось одноименной шахтой. Вмещающие породы и рудные тела имели наклонное юго-восточное падение под углом 30°. Форма рудного тела пластообразная, мощность от 15 до 25 м. Содержа-

ние железа в руде от 20 до 60 %. Длина основного рудного тела по простиранию 350 м, по падению 900 м. До отметки +100 м запасы руды обрабатывались этажно-камерной системой. МКЦ и МЭЦ обрушались в массовом порядке (по 2 – 3), что обеспечивало обрушение и просадку пород висячего бока. Но данная система обладала существенными недостатками: при высоком содержании железа в руде потери и разубоживание достигали 26,7 и 15 %, соответственно, что потребовало изыскания более рациональных способов обработки месторождения. Наиболее предпочтительным вариантом по удельному объему подготовительно-нарезных работ (ПНР) и показателям извлечения руды оказалось применение КСР. Камерные запасы обрабатывались камерной системой с последующим принудительным обрушением пород кровли, таким образом заполняя камеры пустыми породами. Целики (МКЦ и подэтажный) обрабатывались системой подэтажного обрушения в зажатой среде с торцовым выпуском руды. Анализ эффективности КСР показал, что ее применение позволило сократить потери руды по блоку в 1,8 раза (с 26,7 до 15 %), и снизить себестоимость добычи руды на 30 % [21, 22].

Опыт применения и проектирования КСР золоторудных месторождений

При разработке *Тасеевского золоторудного месторождения* применялась комбинация систем разработки с магазинированием и закладкой [23, 24]. Сущность этого варианта КСР заключается в том, что перед обработкой камерных запасов на их границе проходят щели, в которых формируют бетонные барьерные целики, позволяющие отработать запасы камер в проектных контурах. Ширина щелей в зависимости от конкретных условий составляла 2,5 – 3,5 м; длина щелей на 1,5 – 2 м больше мощности рудного тела. Щели создавали мелкошпуровым способом с магазинированием руды. После полного выпуска руды щель закладывали твердеющей смесью. Камерные запасы обрабатывались тремя вариантами систем с магазинированием (рис. 5).

Камера 1 (рис. 5а) обрабатывалась снизу вверх системой с магазинированием руды при мелкошпуровой отбойке. Камеру 2 (рис. 5б) обрабатывали сверху вниз системой подэтажного магазинирования со скважинной отбойкой.

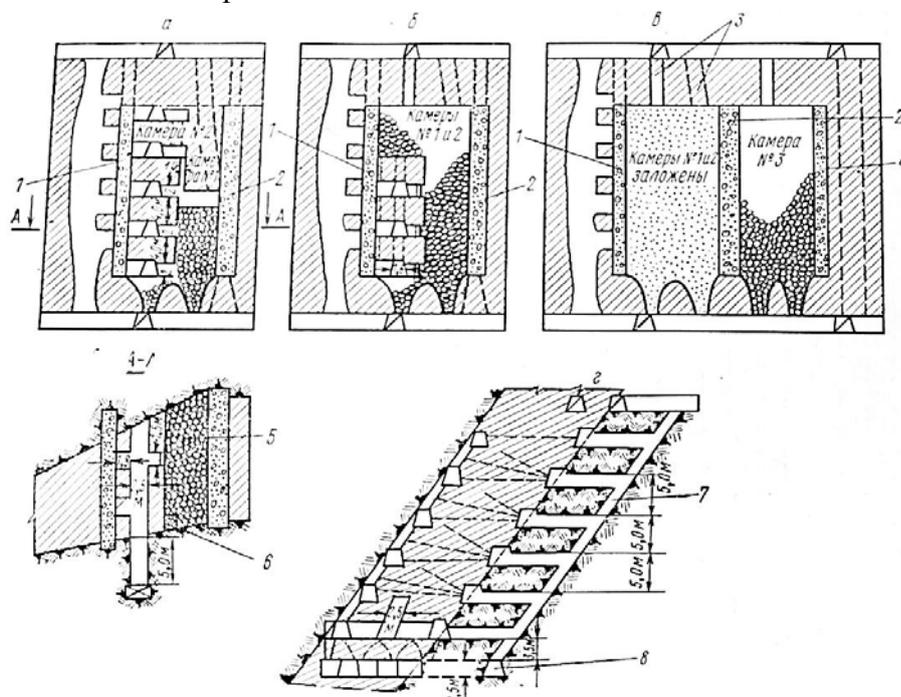


Рис. 5 – КСР с магазинированием руды и предварительным возведением искусственных целиков:
1, 2, 4 – бетонные целики; 3 – закладочные дучки; 5 – руда;
6 – восстающий; 7 – полевой восстающий; 8 – полевой штрек

Вследствие ведения буровзрывных работ и наличия замагазинированной руды в камерах 1 и 2 нарушений бетонных целиков не наблюдалось. После выпуска руды данные камеры закладывались твердеющей смесью с добавлением породы из проходческих забоев. Камеру 3 (рис. 5 в, г) обрабатывали системой с магазинированием руды снизу вверх с отбойкой горизонтальными и наклонными скважинами из подэтажных выработок. Внедрение КСР позволило добиться снижения себестоимости добычи 1 м³ руды на 19 % по сравнению с ранее применявшейся системой горизонтальных слоев с закладкой [25].

Для отработки рудных и жильных зон мощностью более 4 м, расположенных в мерзлотной части золоторудного *Нежданнинского месторождения*, обосновано применение комбинированного варианта системы разработки с камерной выемкой основных запасов и последующим подэтажным обрушением МКЦ и массовым обрушением МЭЦ [26]. Отбойка руды в камерах ведется веерами восходящих скважин на открытое очистное пространство, затем осуществляется площадной выпуск через погрузочные заезды ПДМ. Запасы МЭЦ выпускаются аналогично, но уже под обрушенными породами. При отработке МКЦ отбойка осуществляется из орта, пройденного вкрест простирания рудного тела с последующим торцовым выпуском. Переход на КСР позволил снизить потери и разубоживание примерно в 1,5 раза, при этом повысив сменную производительность по добыче на 15 – 20 %. Последнее особенно важно для предотвращения смерзания руды при ее выпуске в условиях вечной мерзлоты [27].

Аналогично ведется отработка рудных тел *Ветренского золоторудного месторождения*, протяженность которых превышает 50 м, мощность составляет более 4 м при среднем угле падения 68° [28]. Данное техническое решение обусловлено устойчивыми параметрами конструктивных элементов системы.

Еще одним примером КСР без разделения на камеры и целики является технология, при которой В.В. Глотовым предлагается разрабатывать жилы с изменчивой мощностью путем комбинации системы с магазинированием руды для участков выдержанной мощности и системы с отдельной выемкой в местах пережима жилы (рис. 6) [9].

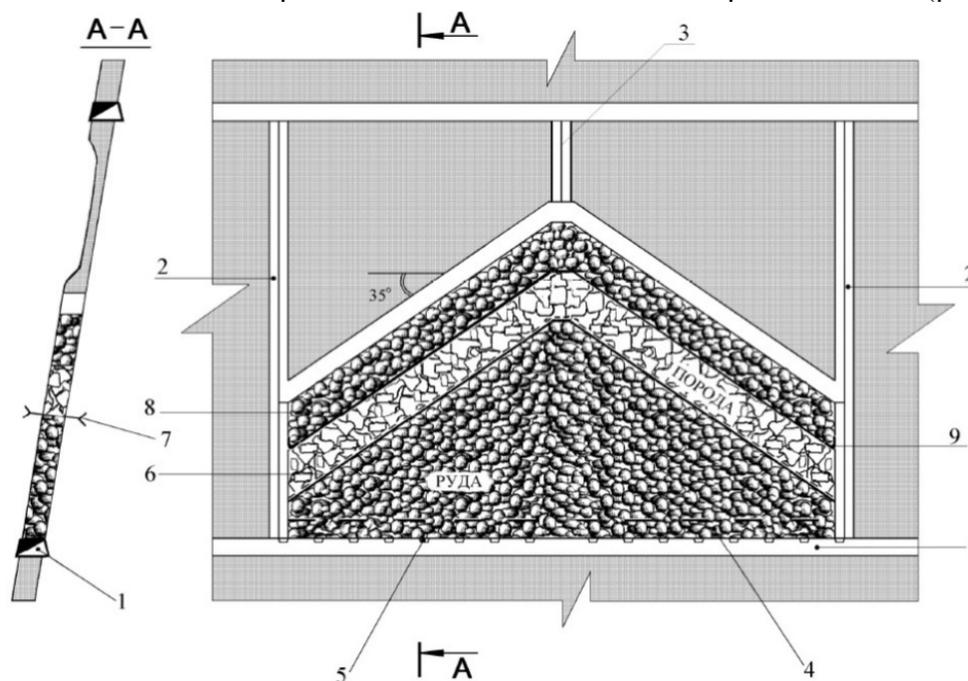


Рис. 6 – КСР с магазинированием и отдельной выемкой руды и вмещающих пород:

- 1 – откаточный штрек; 2 – блоковый восстающий; 3 – центральный восстающий;
- 4 – компенсационное пространство; 5 – выпускные люки; 6 – пустая порода;
- 7 – жесткое перекрытие; 8 – гибкое перекрытие; 9 – межблоковые выпускные люки

При уменьшении мощности жилы ниже допустимой ширины очистного пространства переходят на технологию очистных работ с отдельной выемкой руды и породы. На замагазинированную руду укладывают перекрытие, на которое первоначально отбивают руду и выпускают ее на откаточный горизонт по рудоспускам блоковых восстающих. Затем отбивают породу и оставляют ее в очистном пространстве, что позволяет снизить разубоживание на 30 – 50 %.

Опыт применения и проектирования КСР месторождений ценных руд и редких элементов стратегического значения

При разработке жилы № 175 Кыштымского месторождения гранулированного кварца, представленного наклонным рудным телом ($25 - 40^\circ$) средней мощности (12 м), применялась камерно-столбовая система разработки с взрыводоставкой руды. Основным недостатком технологии были высокие эксплуатационные потери кварца, достигавшие 30 %, вследствие оставления неизвлекаемых ленточных целиков и потерь руды на откосе камер, угол которого был равен углу падения залежи. Решение данной проблемы достигнуто применением КСР, сконструированной под руководством И.В. Соколова, сочетающей систему с открытым очистным пространством и с обрушением руды и вмещающих пород (рис. 7).

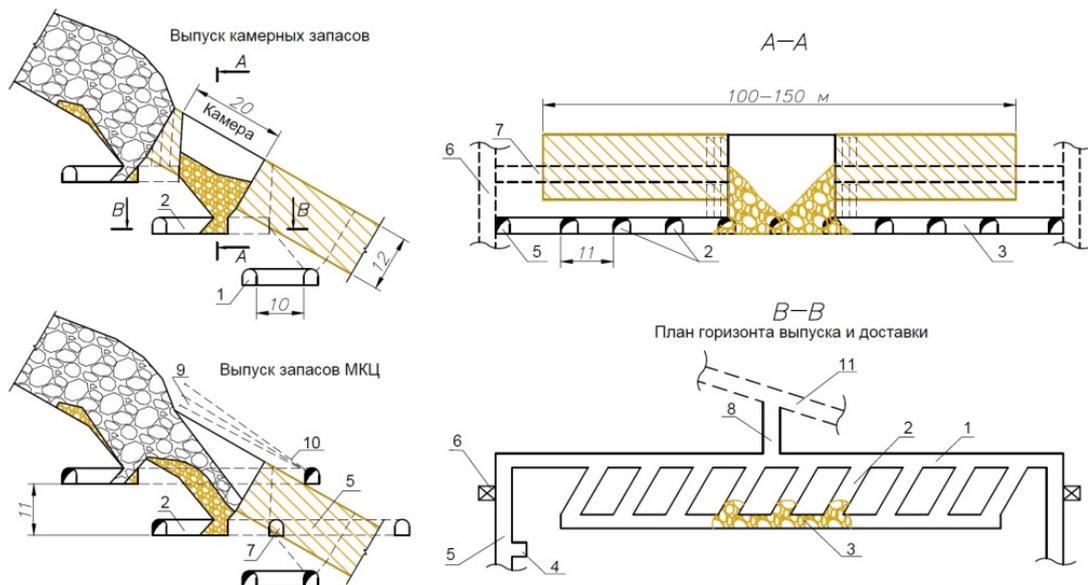


Рис. 7 – КСР с подэтажным обрушением и площадным выпуском запасов МКЦ:

- 1 – доставочный штрек; 2 – погрузочный заезд; 3 – траншейный штрек; 4 – буровая ниша;
5 – вентиляционный орт; 6 – вентиляционно-ходовой восстающий; 7 – вентиляционно-буровой штрек; 8 – заезд на подэтаж; 9 – породная консоль; 10 – скважины для принудительного обрушения; 11 – наклонный съезд

Разработанный в результате вариант КСР с податливыми МКЦ обеспечил снижение потерь конструктивного характера более чем в 2 раза (с 30 до 14 %) [29 – 31].

Для урановых месторождений Эльконского района, характеризующихся крутопадающими рудными телами (65°) малой и средней мощности (2 – 5 м), предлагается применение КСР, основанной на первичной отработке узких камер с высококачественной твердеющей закладкой и последующей выемкой основных запасов широкими камерами (рис. 8) [32].

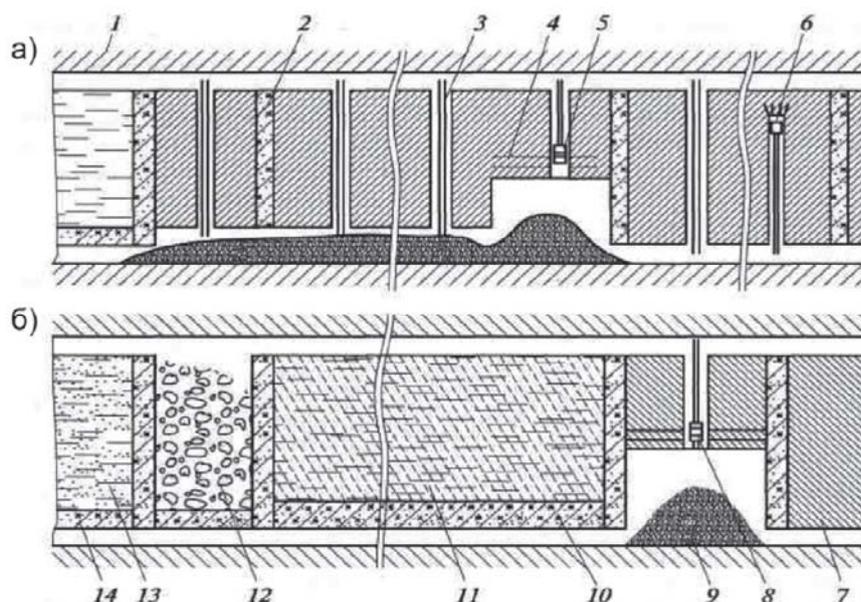


Рис. 8 – КСР с закладкой выработанного пространства различными материалами:
1 – верхний этаж; 2 – первичные узкие камеры; 3 – монорельс в очистном восстающем; 4 – веер скважин; 5, 8 – очистной комплекс; 6 – проходческий комплекс; 7 – рудное тело; 9 – отбитая руда; 10, 14 – бетонная «подушка»; 11 – бедные руды для выщелачивания; 12 – закладка из пустых пород; 13 – закладка из хвостов обогащения

В основании вторичных камер формируется изолирующая бетонная подушка, служащая кровлей при отработке нижележащего этажа. Также возможен вариант использования вторичных камер в качестве емкостей подземного выщелачивания бедных и забалансовых урановых руд, что позволяет получить не только дополнительный металл, но и экологический эффект за счет сокращения объема внешних отвалов.

Рудник «Карнасурт» обрабатывает часть *Ловозерского месторождения*, где ведется добыча редкоземельных элементов. Рудная залежь представлена маломощным рудным телом (0,6 – 2,4 м) с выдержанным простиранием и углом падения 12 – 18°. За время существования рудника применялись различные варианты сплошной камерной и камерно-столбовой систем разработки. Недостатками при этом являлись высокие значения потерь в поддерживающих панельных и столбчатых целиках, использование низкопроизводительного стационарного оборудования и ручного труда, обусловленных ограниченной высотой рабочего пространства. При переходе на комплексы самоходного оборудования производительность труда значительно повысилась, однако то же самое произошло с показателями разубоживания вследствие увеличения высоты очистного пространства и примешивания пустых пород кровли. В 70-х годах XX века с целью сохранения и последующей отработки выщележащих пластов забалансовых руд и улучшения показателей извлечения И.И. Бессоновым была предложена КСР, основанная на сочетании сплошной системы разработки и системы с закладкой. Суть системы заключается в опережающей отработке пород кровли с целью получения закладочного материала и последующей выемки рудного тела с закладкой выработанного пространства ранее извлеченными пустыми породами (рис. 9) [33]. На всех процессах выемки применяется самоходное оборудование.

Такая система позволила в 2 – 3 раза снизить потери руды в целиках и разубоживание от налегающих пород, исключить вредное влияние больших объемов образовавшихся пустот на подработанную толщу пород. Однако широкого распространения данная система не получила, в настоящее время применяются вариации сплошной и камерно-столбовой системы [34, 35].

Результаты анализа практического применения КСР подземной разработки рудных месторождений представлены в табл. 1. Проведенный анализ опыта применения КСР будет использован для дальнейшего проведения исследований.

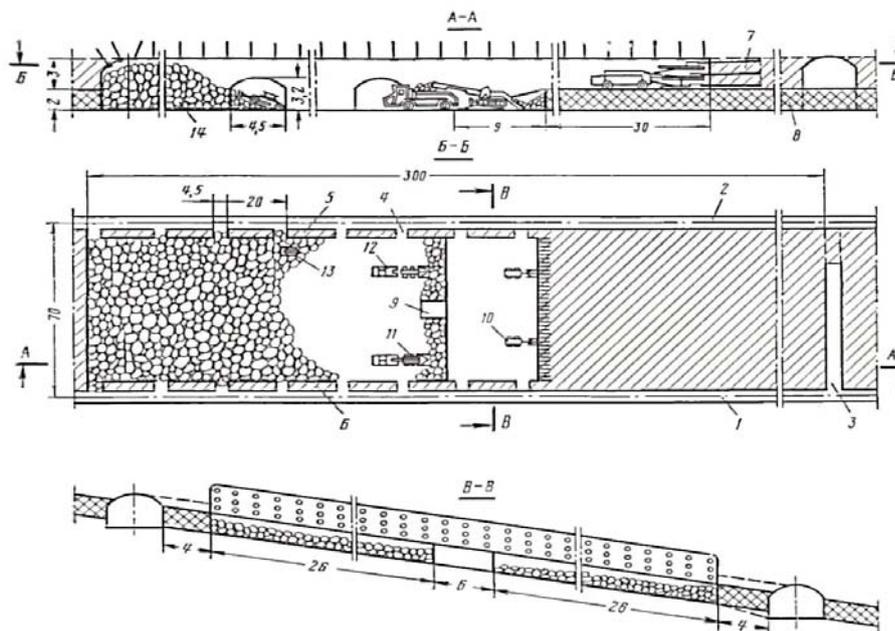


Рис. 9 – КСР с опережающей подрывкой кровли рудного тела и закладкой выработанного пространства с применением самоходного оборудования:
1 и 2 – откаточный и вентиляционный штреки; 3 – отрезной восстающий;
4 – вентиляционно-въездные окна; 5, 6 – подштрековый и надштрековый целик; 7 – породы кровли;
8 – рудное тело; 9 – рудный съезд; 10 – бурильная установка; 11 – погрузочная машина; 12 – автосамосвал; 13 – бульдозер; 14 – отвал пустых пород (закладка)

Заключение

Применение КСР в практике горнодобывающих предприятий охватывает все основные типы горно-геологических условий залегания рудных тел: по мощности – от тонких до весьма мощных рудных тел, по углу падения – от пологих до крутопадающих. Добываемые полезные компоненты при этом характеризуются, как правило, достаточно высокой ценностью и/или стратегической направленностью своего дальнейшего использования. Основные причины перехода к комбинированным технологиям подземной добычи также весьма разнообразны и чаще всего взаимосвязаны. Это и повышение эффективности добычи за счет улучшения показателей извлечения; интенсивности отработки запасов; управление геомеханическим состоянием горного массива; снижение себестоимости добычи; соображения экологичности и безопасности, прежде всего связанные с условиями обводненности месторождений, склонности руд к самовозгоранию и утилизации максимально возможного объема отходов горнодобывающего производства в пустотах недр.

Следует отметить, что применение КСР в отдельных случаях связано с определенными сложностями при организации технологических процессов, вызванными принципиальными отличиями сочетаемых классов систем. Рассмотренные в данной статье КСР позволяют решать геотехнологические и геомеханические проблемы, вызвавшие необходимость их разработки, изыскания и применения. Область эффективного применения КСР можно определить как соответствие горно-геологическим и горно-техническим условиям до тех пор, пока аналогичные или лучшие технико-экономические, геомеханические или показатели безопасности не будут обеспечиваться одной системой.

Таблица 1

Параметры комбинированных систем подземной разработки рудных месторождений

Полезное ископаемое	Месторождение	Угол падения рудного тела, град	Мощность рудного тела, м	Традиционная система разработки	Причина перехода на КСР	КСР
Цветные металлы (Cu, Ni, Zn и др.)	Иртышское	15-80	10-15	подэтажные штреки; слоевая с твердеющей закладкой; этажное обрушение	склонность руд к самовозгоранию	камерная с твердеющей закладкой + слоевое обрушение
	Норильское	0-15	>30	камерная с твердеющей закладкой; слоевая с твердеющей закладкой	высокая себестоимость, управление состоянием массива	камерная с твердеющей закладкой + этажное/подэтажное обрушение
	Норильское	0-15	>30			камерно-столбовая + подэтажное обрушение
	Талнахское	5-14	25-40	слоевая с твердеющей закладкой; камерная с твердеющей закладкой		с магазинированием руды + камерная с твердеющей закладкой
	Жезказганское	30	10-20	камерно-столбовая	высокие потери руды	камерно-столбовая + подэтажное обрушение
Черные металлы (Fe)	Соколовское	45-70	>50	камерная с твердеющей закладкой	обводненность месторождения, высокая себестоимость	камерная с твердеющей закладкой + этажное обрушение
	Яковлевское	60-70	50-90	слоевая с твердеющей закладкой	обводненность, высокая себестоимость	камерная/слоевая с закладкой + этажное/подэтажное самообрушение
	Валуевское	30	15-25	этажно-камерная	высокие потери и разубоживание руды	камерная с принудительным обрушением висячего бока + подэтажное обрушение

Полезное ископаемое	Месторождение	Угол падения рудного тела, град	Мощность рудного тела, м	Традиционная система разработки	Причина перехода на КСР	КСР
Драгоценные металлы (Au, Ag)	Тасеевское	50-80	0,5-15	слоевая с твердеющей закладкой	высокая себестоимость	с магазинированием + вертикальные слои с твердеющей закладкой
	Нежданинское	70-80	4,0-6,0	этажное/подэтажное обрушение	смерзаемость отбитой руды	камерная + этажное/подэтажное обрушение
	Ветренское	70	4,0-6,0	подэтажные штреки	управление состоянием массива	подэтажные штреки + этажное/подэтажное обрушение
	Восточно-Забайкальское	75-85	0,6-4,0	с магазинированием	высокое разубоживание руды	с магазинированием + раздельная выемка руды и породы с отбойкой на металлический настил
Кварц (SiO ₂)	Кыштымское	30	12,5	камерно-столбовая	высокие потери руды	камерная + подэтажное обрушение
Уран (U)	Эльконское	65	2,0-5,0	подэтажные штреки; этажное/подэтажное обрушение	экологическая безопасность; наличие участков бедных руд	камерная с твердеющей закладкой + камерная с сухой закладкой забалансовыми рудами для подземного выщелачивания
Редкоземельные элементы (Ta, Nb и др.)	Ловозерское	12-18	0,6-2,4	сплошная; камерно-столбовая	высокое разубоживание руды, сохранение вышележащих пластов забалансовых руд	сплошная + сплошная с сухой закладкой

Список литературы

1. Яковлев В.Л., Корнилков С.В., Соколов И.В., 2018. *Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья*. Екатеринбург: УрО РАН, 360 с.
2. Агошков М.И., Борисов С.С., Боярский В.А., 1983. *Разработка рудных и нерудных месторождений. Учебник для техникумов*. Москва: Недра, С. 67, 249-257.
3. 2016. *Горное дело: терминологический словарь*. Под науч. ред. акад. РАН Трубецкого К.Н., чл.-корр. РАН. Каплунова Д.Р. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во «Горная книга», 635 с.
4. Скорняков С.Ю., 1978. *Системы разработки и комплексы самоходных машин при подземной добыче руд*. Москва: Недра, С. 138.
5. 1984-1991. *Горная энциклопедия: В 5 т.* Гл. ред. Е. А. Козловский, Москва: Советская энциклопедия.
6. Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Никитин И.В., Барановский К.В., Рожков А.А., 2016. Изыскание подземной геотехнологии при переходе к освоению глубокозалегающих запасов наклонного медноколчеданного месторождения. *Известия Уральского государственного горного университета*, № 2 (42), С. 47-53.
7. Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Барановский К.В., Рожков А.А., 2016. Систематизация, конструирование и оценка вариантов комбинированной системы разработки наклонных рудных тел. *Проблемы недропользования*, № 4 (11), С. 61-68.
8. Пирогов Г.Г., 2018. Комбинированная система разработки с открытым выработанным пространством и отбойкой руды в зажиме. *Кулагинские чтения: Техника и технологии производственных процессов*, С. 89-96.
9. Глотов В.В., 2007. Технология разработки мелких жильных месторождений с изменчивой мощностью. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № S4, С. 70-74.
10. KAZMinerals. URL: <http://kazminerals.info/ru/roots/enterprise/posts/irtyshskaya-shahta> (дата обращения 01.03.2020)
11. Ананин А.И., 2003. Состояние и перспективы подземной добычи руды в Восточном Казахстане. *Горный журнал Казахстана*, №1, С. 15-17.
12. Тапсиев А.П., Фрейдин А.М., Усков В.А., Анушенков А.Н., Филиппов П.А., Неверов А.А., Неверов С.А., 2014. Развитие ресурсосберегающих геотехнологий разработки мощных пологопадающих залежей полиметаллических руд в условиях Норильска. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, № 5, С. 123-136.
13. Фрейдин А.М., Неверов А.А., Неверов С.А., 2016. Геомеханическая оценка комбинированной системы разработки мощных пологих рудных залежей с закладкой и обрушением. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, № 5, С. 114-124.
14. Неверов А.А., 2014. Геомеханическая оценка комбинированной геотехнологии при отработке мощной пологой рудной залежи. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, № 1, С. 119-131.
15. Габараев О.З. Дмитрак Ю.В., Дребенштедт К., Савелков В.И., 2017. Закономерности взаимодействия разрушенных геоматериалов и рудовмещающего массива при отработке подработанных вкрапленных руд. *Устойчивое развитие горных территорий*, Т. 9., № 4 (34), С. 406-413.
16. Аханов Т.М., Прокушев Г.А., 2012. Современное состояние разработки и проблемы развития технологии на этапе доработки Жезказганского месторождения. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, № 11., С. 5-12.
17. Балек А.Е., Сашурин А.Д., Харисов Т.Ф., 2019. Совершенствование подземной разработки Соколовского месторождения системами с обрушением в условиях обводненных налегающих пород. *Проблемы недропользования*, №1, С. 5-6.

18. Хлебников П.К., 2019. *Обоснование рациональных параметров рамно-анкерной крепи подземных горных выработок, находящихся в зоне влияния очистных работ (на примере шахты "Соколовская", АО "ССГПО", Республика Казахстан)*. Дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 16 с.
19. Зубов В.П., Антонов А.А., 2006. Концепция отработки Яковлевского железорудного месторождения на участках богатых железных руд. *Записки Горного института*, Т. 168, С. 203-210.
20. Зубов В.П., Антонов А.А., 2006. Пример реализации комбинированной системы разработки с самообрушением руды на участке богатых железных руд. *Записки Горного института*, Т. 168, С. 211-214.
21. Иванов Г.И., Коротких Л.М., Шапошникова Т.В., 1979. Опыт отработки наклонной рудной залежи средней мощности на шахте «Валуевская». *Горный журнал*, № 2, С. 28-31.
22. Влох Н.П., А.В. Зубков, А.Е. Балек, Ю.Г. Феклистов, И.П. Лубенец, 1986. Разработка наклонных рудных тел камерами увеличенных размеров. *Горный журнал*, № 8, С. 26-28.
23. Худорба О.А., Гребнев Е.А., 2007. Оценка современного состояния инженерно-геологических условий Тасеевского золоторудного месторождения. *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАН*, № 5(31), С. 117-120.
24. Лизункин В.М., Овсейчук В.А., Костромин М.В., Юргенсон Г.А., 2012. Способы добычи и переработки руд Балейско-Тасеевского месторождения и их влияние на окружающую среду. *Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных поселений: материалы IV Всерос. симп. (Чита, 5–8 ноября 2012 г.)*, Чита, С. 81-83.
25. Чесноков Н.И., Петросов А.А., Шевченко Б.Ф., 1975. *Системы разработки месторождений урана с твердеющей закладкой*. Москва: Атомиздат, С. 167-174.
26. Юсимов Б.В., 2020. О подходах к выбору систем разработки при технико-экономическом обосновании кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых. *Недропользование XXI век*, № 1 (83), С. 85-91.
27. Зубков В.П., Петров Д.Н., 2019. Влияние интенсивности торцевого выпуска руды из блока на потери запасов при подземной отработке месторождений криолитозоны системами с поэтажным обрушением. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, № 8, С. 5-13.
28. Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г. и др., 2018. Особенности подземной разработки Ветренского золоторудного месторождения. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 4, С. 12-22.
29. Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Барановский К.В., Рожков А.А., 2016. Систематизация, конструирование и оценка вариантов комбинированной системы разработки наклонных рудных тел. *Проблемы недропользования*, № 4 (11), С. 61-68.
30. Барановский К.В., Харисова О.Д., 2018. Оценка фактических показателей извлечения руды по данным лазерного сканирования при подземной разработке. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 4, С. 135-147.
31. Барановский К.В., Рожков А.А., 2019. Исследование параметров технологии подземной добычи гранулированного кварца. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 3, С. 123-135.
32. Михайлов Ю.В., 2018. Новые технологии недропользования, обеспечивающие экологическую и национальную безопасность России. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, № 11, С. 92-106.
33. Бессонов И.И. Боборыкин В.Н., Жуков В.В., Еремин В.И., 1977. Комбинированная система разработки пологопадающих маломощных рудных залежей. *Горный журнал*, № 8, С. 30-32.

34. Лукичев С.В., Любин А.Н., 2016. Повышение полноты извлечения и качества руд при разработке тонких пологих месторождений. *Проблемы недропользования*, № 4(11), С. 69-73.

35. Матыцын А.В., Ловчиков А.В., Любин А.Н., Королев А.А., 2019. Повышение безопасности камерно-столбовой системы разработки на руднике Карнасурт и перспективы его развития. *Вестник Кольского научного центра РАН*, Т. 11, № 2, С. 61-68.

References

1. Yakovlev V.L., Kornilkov S.V., Sokolov I.V., 2018. *Innovatsionnyi bazis strategii kompleksnogo osvoeniya resursov mineral'nogo syr'ya* [Innovative Basis of the Strategy for Integrated Development of Mineral Resources]. Ekaterinburg: UrO RAN, 360 s.

2. Agoshkov M.I., Borisov S.S., Boyarskii V.A., 1983. *Razrabotka rudnykh i nerudnykh mestorozhdenii. Uchebnik dlya tekhnikumov* [Development of Ore and Non-metallic Deposits. Textbook for Technical Schools]. Moscow: Nedra, S. 67, 249-257.

3. 2016. *Gornoe delo: terminologicheskii slovar'* [Mining: Terminology Dictionary]. Pod nauch. red. akad. RAN Trubetskogo K.N., chl.-korr. RAN. Kaplunova D.R. 5-e izd., pererab. i dop. M.: Izd-vo "Gornaya kniga", 635 s.

4. Skorniyakov S.Yu., 1978. *Sistemy razrabotki i komplekсы samokhodnykh mashin pri podzemnoi dobyche rud* [Development Systems and Complexes of Self-propelled Machines for Underground Mining of Ores]. Moscow: Nedra, S. 138.

5. 1984-1991. *Gornaya entsiklopediya: V 5 t.* [Mountain Encyclopedia: In 5 vol.]. Gl. red. E.A. Kozlovskii, Moscow: Sovetskaya entsiklopediya.

6. Sokolov I.V., Antipin Yu.G., Nikitin I.V., Baranovskii K.V., Rozhkov A.A., 2016. *Izyskanie podzemnoi geotekhnologii pri perekhode k osvoeniyu glubokozalegayushchikh zapasov naklonnogo mednokolchedannogo mestorozhdeniya* [Exploration of Underground Geotechnology while Transition to Development of Deep-lying Inclined Copper-ore Deposit]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, № 2 (42), S. 47-53.

7. Sokolov I.V., Antipin Yu.G., Baranovskii K.V., Rozhkov A.A., 2016. *Sistematizatsiya, konstruirovaniye i otsenka variantov kombinirovannoi sistemy razrabotki naklonnykh rudnykh tel* [Systematization, Designing and Evaluation of Options for Combined Development System for Inclined Ore Bodies]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4 (11), S. 61-68.

8. Pirogov G.G., 2018. *Kombinirovannaya sistema razrabotki s otkrytym vyrabotannym prostranstvom i otboikoi rudy v zazhime* [Combined System of Developed with Open Area and Ore Breaking in Climp]. *Kulaginskii chteniya: Tekhnika i tekhnologii proizvodstvennykh protsessov*, S. 89-96.

9. Glotov V.V., 2007. *Tekhnologiya razrabotki melkikh zhil'nykh mestorozhdenii s izmenchivoi moshchnost'yu* [Developing Technology for Small Vein Deposits with Variable Capacity]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № S4, S. 70-74.

10. KAZMinerals. URL: <http://kazminerals.info/ru/roots/enterprise/posts/irtyshskaya-shahta> (data obrashcheniya 01.03.2020)

11. Ananin A.I., 2003. *Sostoyaniye i perspektivy podzemnoi dobychi rudy v Vostochnom Kazakhstane* [State and Prospects of Underground Ore Mining in East Kazakhstan]. *Gornyi zhurnal Kazakhstana*, №1, S. 15-17.

12. Tapsiev A.P., Freidin A.M., Uskov V.A., Anushenkov A.N., Filippov P.A., Neverov A.A., Neverov S.A., 2014. *Razvitiye resursosberegayushchikh geotekhnologii razrabotki moshchnykh pologopadayushchikh zalezhei polimetallicheskikh rud v usloviyakh Noril'ska* [Development of Resource-saving Geotechnologies for Development of Large Blanket Formations of Polymetallic Ores in Norilsk]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, № 5, S. 123-136.

13. Freidin A.M., Neverov A.A., Neverov S.A., 2016. *Geomekhanicheskaya otsenka kombinirovannoi sistemy razrabotki moshchnykh pologikh rudnykh zalezhei s zakladkoi i obrusheniem* [Geomechanical Assessment of Combined System for Developing Large Flat

Ore Deposits with Laying and Collapsing]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, № 5, S. 114-124.

14. Neverov A.A., 2014. *Geomekhanicheskaya otsenka kombinirovannoi geotekhnologii pri otrabotke moshchnoi pologo rudnoi zalezhi* [Geomechanical Assessment of Combined Geotechnology in Mining a Large Flat Ore Deposit]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, № 1, S. 119-131.

15. Gabaraev O.Z. Dmitrak Yu.V., Drebenshtedt K., Savelkov V.I., 2017. *Zakonomernosti vzaimodeistviya razrushennykh geomaterialov i rudovmeshchayushchego massiva pri otrabotke podrobotannykh vkraplennykh rud* [Interaction Regularities of Destroyed Geomaterials and Ore-bearing Massif during Mining of Snubbed Disseminated Ores]. *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii*, T. 9., № 4 (34), S. 406-413.

16. Akhanov T.M., Prokushev G.A., 2012. *Sovremennoe sostoyanie razrabotki i problemy razvitiya tekhnologii na etape dorabotki Zhezkazganskogo mestorozhdeniya* [Current State of Development and Problems of Technology Evolution at Completion State of Zhezkazgan Field]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, № 11., S. 5-12.

17. Balek A.E., Sashurin A.D., Kharisov T.F., 2019. *Sovershenstvovanie podzemnoi razrabotki Sokolovskogo mestorozhdeniya sistemami s obrusheniem v usloviyakh obvodnennykh nalegayushchikh porod* [Improvement of Underground Development of Sokolovsky Deposit by Systems with Collapsing under Conditions of Waterlogged Overlying Rocks]. *Problemy nedropol'zovaniya*, №1, S. 5-6.

18. Khlebnikov P.K., 2019. *Obosnovanie ratsional'nykh parametrov ramno-ankernoii krepki podzemnykh gornyykh vyrabotok, nakhodyashchikhsya v zone vliyaniya ochistnykh rabot (na primere shakhty "Sokolovskaya", AO "SSGPO", Respublika Kazakhstan)* [Justification of Rational Parameters for Frame-and-anchor Support of Underground Mine Workings Located in the Influence Zone of Treatment Stopping (on Example of Sokolovskaya Mine, SSGPO JSC, Republic of Kazakhstan)]. *Dis. ... kand. tekhn. nauk. Ekaterinburg: Ural'skii gosudarstvennyi gornyi universitet*, 16 s.

19. Zubov V.P., Antonov A.A., 2006. *Kontseptsiya otrabotki Yakovlevskogo zhelezorudnogo mestorozhdeniya na uchastkakh bogatykh zheleznykh rud* [Development Concept for Yakovlevskoye Iron Ore Deposit in Areas of Rich Iron Ores]. *Zapiski Gornogo instituta*, T. 168, S. 203-210.

20. Zubov V.P., Antonov A.A., 2006. *Primer realizatsii kombinirovannoi sistemy razrabotki s samoobrusheniem rudy na uchastke bogatykh zheleznykh rud* [Implementation Example of Combined Mining System with Self-collapsing of Ore at a Rich Iron Ore Site]. *Zapiski Gornogo instituta*, T. 168, S. 211-214.

21. Ivanov G.I., Korotkikh L.M., Shaposhnikova T.V., 1979. *Opyt otrabotki naklonnoi rudnoi zalezhi srednei moshchnosti na shakhte "Valuevskaya"* [Testing Experience of Developing Inclined Ore Deposits of Average Thickness on "Baluyevskaya" Mine]. *Gornyi zhurnal*, № 2, S. 28-31.

22. Vlokh N.P., Zubkov A.V., Balek A.E., Feklistov Yu.G., Lubenets I.P., 1986. *Razrabotka naklonnykh rudnykh tel kamerami uvelichennykh razmerov* [Development of Inclined Ore Bodies with Enlarged Chambers]. *Gornyi zhurnal*, № 8, S. 26-28.

23. Khudorba O.A., Grebnev E.A., 2007. *Otsenka sovremennogo sostoyaniya inzhenerno-geologicheskikh uslovii Taseevskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya* [Current State Evaluation of Engineering and Geological Conditions for Taseyevsky Gold Deposit]. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle RAEN*, № 5(31), S. 117-120.

24. Lizunkin V.M., Ovseichuk V.A., Kostromin M.V., Yurgenson G.A., 2012. *Sposoby dobychi i pererabotki rud Baleisko-Taseevskogo mestorozhdeniya i ikh vliyanie na okruzhayushchuyu sredu* [Methods of Mining and Ore Processing for Baleysko-Taseyevskoye Deposit and their Impact on Environment]. *Mineralogiya i geokhimiya landshafta gornorudnykh poselenii: materialy IV Vseros. simp. (Chita, 5–8 noyabrya 2012 g.)*, Chita, S. 81-83.

25. Chesnokov N.I., Petrosov A.A., Shevchenko B.F., 1975. *Sistemy razrabotki mestorozhdenii urana s tverdeyushchei zakladkoi* [Developing Systems with Consolidating Stowing for Uranium Deposits]. Moscow: Atomizdat, S. 167-174.

26. Yusimov B.V., 2020. *O podkhodakh k vyboru sistem razrabotki pri tekhnikoekonomicheskom obosnovanii konditsii dlya podscheta zapasov mestorozhdenii tverdykh poleznykh iskopaemykh* [On Selection Approaches for Development Systems by Feasibility Study of Conditions for Calculating Reserves of Solid Mineral Deposits]. *Nedropol'zovanie XXI vek*, № 1 (83), S. 85-91.

27. Zubkov V.P., Petrov D.N., 2019. *Vliyanie intensivnosti tortsevogo vypuska rudy iz bloka na poteri zapasov pri podzemnoi otrabotke mestorozhdenii kriolitozony sistemami s podetazhnym obrusheniem* [Influence of Intensity of End Ore Release from the Block on the Loss of Reserves during Underground Mining of Cryolite Zone by Systems with Sub-level Collapsing]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, № 8, S. 5-13.

28. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G. i dr., 2018. *Osobennosti podzemnoi razrabotki Vetrenskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya* [Features of Underground Development of Vetrinsky Gold Deposit]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, № 4, S. 12-22.

29. Sokolov I.V., Antipin Yu.G., Baranovskii K.V., Rozhkov A.A., 2016. *Sistemati-zatsiya, konstruirovaniye i otsenka variantov kombinirovannoi sistemy razrabotki naklonnykh rudnykh tel* [Systematization, Designing and Evaluation of Options for Combined Development System of Angled Ore Bodies]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4 (11), S. 61-68.

30. Baranovskii K.V., Kharisova O.D., 2018. *Otsenka fakticheskikh pokazatelei izvlecheniya rudy po dannym lazernogo skanirovaniya pri podzemnoi razrabotke* [Estimation of Actual Ore Recovery Indicators Based on Laser Scanning Data during Underground Mining]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, № 4, S. 135-147.

31. Baranovskii K.V., Rozhkov A.A., 2019. *Issledovanie parametrov tekhnologii podzemnoi dobychi granulirovannogo kvartsa* [Parameters Research for Technology of Underground Mining of Granulated Quartz]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, № 3, S. 123-135.

32. Mikhailov Yu.V., 2018. *Novye tekhnologii nedropol'zovaniya, obespechivayushchie ekologicheskuyu i natsional'nuyu bezopasnost' Rossii* [New Technologies for Subsoil Use Ensuring Russia's Environmental and National Security]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, № 11, S. 92-106.

33. Bessonov I.I., Boborykin V.N., Zhukov V.V., Eremin V.I., 1977. *Kombinirovannaya sistema razrabotki pologopadayushchikh malomoshchnykh rudnykh zalezhei* [Combined System for Developing Low-capacity Flat Ore Deposits]. *Gornyi zhurnal*, № 8, S. 30-32.

34. Lukichev S.V., Lyubin A.N., 2016. *Povyshenie polnoty izvlecheniya i kachestva rud pri razrabotke tonkikh pologikh mestorozhdenii* [Improving the Completeness of Extraction and of Ore Quality during Development of Thin Flat Deposits]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4 (11), S. 69-73.

35. Matysyn A.V., Lovchikov A.V., Lyubin A.N., Korolev A.A., 2019. *Povyshenie bezopasnosti kamerno-stolbovoi sistemy razrabotki na rudnike Karnasurt i perspektivy ego razvitiya* [Safety Improving of the Chamber-column Mining System at Karnasurt Mine and its Development Prospects]. *Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN*, T. 11, № 2, S. 61-68.