

МИХАЙЛОВ Ю.В. (*Международный независимый эколого-политологический университет, Москва, Россия*)

ОПТИМАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ РУД СИБИРИ

Проблема подземной добычи руд Сибири заключается в необходимости разработки месторождений в условиях «вечной мерзлоты» – криолитозоне, охватывающей 64 % территории России. Трудность полноты извлечения полезных ископаемых и одновременно обеспечения экологической безопасности в условиях криолитозоны заключается в первую очередь в чрезвычайно высокой чувствительности этой зоны к любой техногенной нагрузке.

Горнодобывающая промышленность оказывает существенное влияние на всю биосферу: атмосферу, литосферу, гидросферу, а в первую очередь на загрязнение воздушной среды. Для управления загрязнением воздуха при недропользовании необходимо совершенствовать технологию, технологические процессы, снижать объём ядовитых газов, технологической пыли и локализовать их в отработанных выработках без выхода в атмосферу.

Национальной безопасности России угрожает выборочная отработка только богатых участков руд, которая приводит к закрытию (ликвидации) горнорудных предприятий, ликвидации отрасли стратегического сырья. Исправить ситуацию может применение технологий, исключающих большие потери ценных руд в недрах.

В настоящей работе рассмотрены технологии, обеспечивающие качественную и производительную добычу полезных ископаемых, экологическую и национальную безопасность в условиях криолитозоны Сибири.

Ключевые слова: подземное освоение минеральных ресурсов; криолитозона; зарубежный опыт; экологическая безопасность; аналитическое решение проблемы; опытно-промышленные испытания новых технологий; схемы управления загрязнением воздуха; новые технологии, включая разработку месторождений с ледяной и льдопородной закладкой; потери и разубоживание ценных руд; национальная безопасность

Горнодобывающая промышленность – одна из ведущих отраслей глобальной экономики, занимающая 5-е место по уровню капитализации крупнейших компаний, и, следовательно, одна из основных систем, влияющих на окружающую среду.

Более 25 % суши земного шара и около 64 % территории России (Сибирь, включая Северо-Восток, Дальний Восток, Алтай и арктическую зону) находится в условиях криолитозоны – мерзлой зоне литосферы, характеризующейся отрицательной температурой (до -15°C), содержанием ледяных включений или кристаллов льда, толщиной мерзлых горных пород с изотермической нижней границей 0°C , достигающей мощности от нескольких сотен до 1500 м.

В этой зоне России сосредоточены запасы ценных руд Au, Ag, Pt, Sn, W, Mo, Cu, Zn, Pb, алмазов, редких земель, оптического кварца, угля, железа. Только запасы золота, добыча которых может ве-

стись подземным способом, составляют 56 %.

Указом Президента РФ от 2 мая 2014 г. № 296 определены механизмы реализации госполитики в Арктике с целью «... *расширить ресурсную базу зоны, сохранить природную среду, обеспечить достаточный уровень фундаментальных и прикладных научных исследований...*» [12].

Проблема обеспечения экологической безопасности при добыче полезных ископаемых в условиях криолитозоны состоит в первую очередь в чрезвычайно высокой чувствительности этой зоны к техногенной нагрузке, так как восстановление нарушенной экосистемы в отрицательных температурах происходит во много раз медленнее, чем в европейской части России.

Горнодобывающая промышленность оказывает огромное влияние в целом на всю биосферу: атмосферу, литосферу, гидросферу.



Рис. 1. Распространение криолитозоны России

В первую очередь на загрязнение воздушной среды: выброс ядовитых газов при ведении взрывных работ, выброс метана; выброс технологической пыли при бурении взрывных шпуров и скважин, при дроблении руды и пустых пород, при движении транспорта; загрязнение атмосферного воздуха автомобильным транспортом и дизельным горным оборудованием выхлопными газами; выброс газов при сжигании угля и дизельного топлива при работе ТЭЦ и других отопительных систем, особенно при наступлении неблагоприятных метеорологических условий (НМУ) – похолоданий.

Выборочная добыча богатых участков месторождения – это варварское извлечение ценных руд с высоким содержанием полезного ископаемого из недр, которая приводит к преждевременному закрытию горно-обогатительных предприятий, потере в недрах значительного объема полезных ископаемых, подготовленных к выемке (до 40–60 %), ликвидации целых подотраслей горного производства, что оказывает огромное влияние на национальную безопасность России.

В огромной степени это сказывается при добыче ценных руд в условиях

криолитозоны – зоны, как правило, с неразвитой инфраструктурой, дефицитом квалифицированных кадров, разбросом месторождений на больших территориях, отсутствием энергоресурсов.

Поэтому к технологиям недропользования, влияющим на природную среду криолитозоны предъявляются особые требования.

Объем выбросов пыли и газов в атмосферу при разработке месторождений полезных ископаемых составляет ежегодно сотни тысяч тонн.

Кроме того, большое влияние на проблему сохранения чистоты атмосферы и обеспечение национальной безопасности оказывает вырубка ценных сортов древесины Сибири в огромных объемах для крепления подземных выработок с целью управления геодинамическими процессами горного массива.

Из всех существующих систем подземной разработки месторождений необходимым требованиям отвечает система подземной разработки с закладкой выработанного пространства.

Однако ни одно из месторождений в условиях криолитозоны в настоящее время не разрабатывается данными системами. Это связано с их трудоемко-

стью, необходимостью строительства дорогостоящих закладочных комплексов и трубопроводов, дефицитом вяжущих материалов (цемент и проч.), резким подорожанием материалов, услуг, транспорта, высокой себестоимостью закладочных работ, отсутствием технологий, адаптированных к местным условиям, отрицательным влиянием низких температур на время и технологией формирования цементного закладочного массива [7, 8].

Минимальной себестоимостью обладает ледяная или льдопородная закладка, образуемая за счет естественного холода криолитозоны без применения специальных охлаждающих установок.

Начиная с сороковых годов 20 столетия этому вопросу уделялось большое внимание как отечественных, так и зарубежных исследователей.

Для решения этой проблемы фундаментальные исследования проводились в научно-исследовательских институтах: ВНИИ-1, Институт горного дела Севера СО РАН, Гипроцветмет, Иргиредмет, ИГД им. А.А.Скочинского, ВНИМИ; вузах – МГОУ, ЛГИ и др. [7, 11].

Анализ и обобщение практического применения в горной промышленности технологии с замораживаемой закладкой впервые были проделаны В.П. Бакакиным [1]. Исследования института ВНИИ-1 в 1981–1986 гг. позволили установить, что для рудников Северо-Востока приемлемы системы разработки с закладкой замораживаемыми закладочными смесями. Обзор и анализ практического применения в горной промышленности технологии со смерзающейся закладкой приведены в работах Г.П. Необутова, В.Г. Гринева [10, 11], где обобщены результаты многолетних исследований, проведенных ИГДС СО РАН.

Практический интерес представляют технологические схемы и опытно-

промышленные испытания разработки месторождений полезных ископаемых в зоне многолетней мерзлоты, проведенные в Швеции, Норвегии, США, Канаде, Дании, Исландии [2, 7, 11, 13, 14, 21].

На одном из объектов шведской компании «Болиден» [16] ледяная закладка применялась при разработке рудной залежи по простиранию 300 м, мощностью 6 м, высота слоя составляла 6 м, температура горного массива – +5 °С, температура охлаждающего воздуха минус 20 °С, скорость движения воздуха 4–5 м/с. Число рабочих дней в году – 225.

Отмечается, что важными этапами способа разработки с закладкой льдом являются:

1-й этап: охлаждение породного массива в районе горных выработок, подлежащих закладке, созданием циркуляции холодного воздуха с температурой от –15 до –20 °С, в результате чего нулевая изотерма располагается в горном массиве на расстоянии 1–2 м от стенки выработки;

2-й этап: образование ледяного массива путем поочередного заливания слоев воды на уже замерзший ранее массив с периодическим охлаждением слоя пропуском холодного воздуха;

3-й этап: сохранение ледяного массива замерзшим путем пропускания над ним холодного воздуха с одновременным извлечением руды под ледяной закладкой.

Важно, чтобы охлаждающий поток воздуха, имеющий температуру –15––25 °С и скорость 4–5 м в секунду, не смешивался и не пересекался с вентиляционной струей.

Установлены следующие константы ледяной закладки: плотность 918 кг/м³, теплоемкость 0,5 ккал/кг, теплота плавления 80 ккал/кг, коэффициент

Пуассона 0,5. Найдено, что *при современной технике охлаждения* применение способа целесообразно при температуре горного массива не выше плюс 10 °С.

Рассматривается способ крепления выработанного пространства путем заполнения его льдом. Отмечается, что применение такого способа разработки полезного ископаемого возможно в северных районах земного шара, где можно комбинировать искусственные и естественные способы получения льда в необходимых количествах и по приемлемым ценам [16]. Приводится перечень месторождений Финляндии, Швеции, Гренландии, Канады, благоприятных для применения льдопородной закладки.

Горным институтом технического университета Клаузал проведены лабораторные исследования возможности применения замораживаемой закладки в условиях, соответствующих арктическим [20]. Были проведены исследования смеси, состоящей из отходов флотации и 20–30 % воды, в процессе которых определялись время замерзания и получаемая прочность в зависимости от применяемого состава и температуры. При этом рассматривалось охлаждение воздухом и охлаждение с помощью *специально подаваемого по трубам хладагента*. Приведены примеры возможного применения такой закладки при камерно-столбовой системе разработки. Показана экономическая целесообразность применения замораживаемой закладки по сравнению с бетонной для нормальных условий, а также возможность более полного извлечения полезного ископаемого из недр.

Способ слоевой нисходящей выемки руды под ледяным целиком, обеспечи-

вающий высокие показатели извлечения, разработан фирмой Минделко [14, 22]. На рис. 2 представлена технологическая схема выемки руды под ледяным целиком. После извлечения руды выработанное пространство заполняют льдозакладкой послойным намораживанием льда для обеспечения выемки руды из ниже лежащего слоя. При этом отрицательная температура льдозакладки поддерживается охлажденным воздухом с температурой 10–15 °С. Температуру в забое рекомендуется поддерживать не выше плюс 1–2 °С. Добыча руды может проводиться одновременно на нескольких горизонтах, чтобы избежать перерывов в работе в течение приблизительно двух недель, необходимых для замораживания нового слоя льда. Замораживание осуществляется тремя фазами: 1) охлаждение горного массива; 2) послойное намораживание воды; 3) поддержание отрицательных температур в горном массиве.

Другой метод разработан датскими учеными Копенгагенского университета и доложен на симпозиуме физики и механики льда [19]. Он заключается в поэтапной добычи полезных ископаемых с помощью заполнения льдом с открытой поверхности в горную выработку путем постепенного опускания ледяного массива (рис. 3) и возможен для следующих условий: 1 – крутое и маломощное рудное тело во вмещающих породах; 2 – добыча руды начинается открытым способом; 3 – заполнение выработанного пространства льдом и подготовка к взрыву руды непосредственно под ледяным целиком; 4 – извлечение взорванной массы, в то время как ледяное тело начинает опускаться вследствие отсутствия донной опоры; 5 – заполнение льдом выработанного пространства; 6 – повторение процесса.

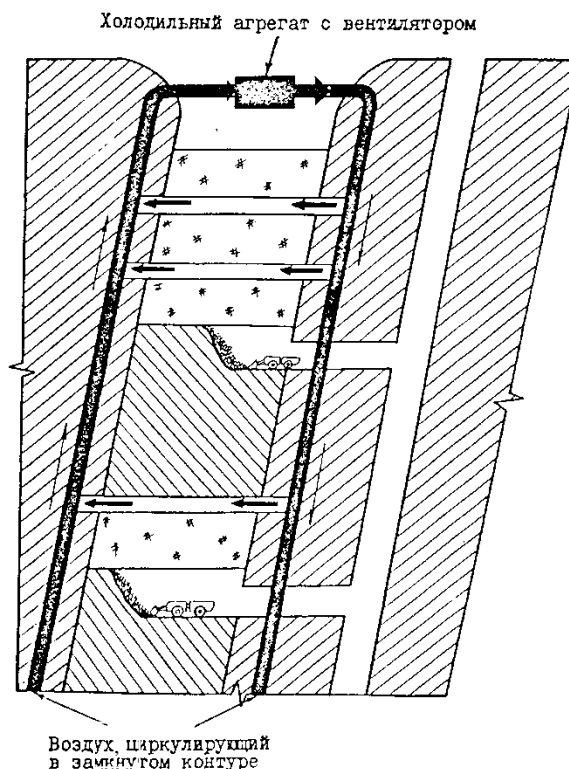


Рис. 2. Вариант слоевой выемки руды с нисходящим порядком отработки слоев

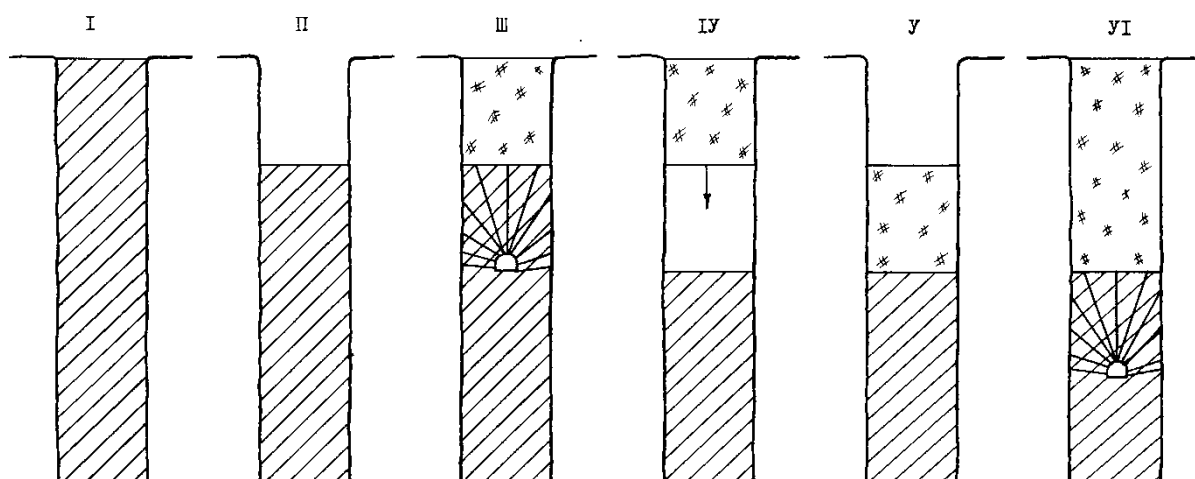


Рис. 3. Поэтапная добыча полезных ископаемых с помощью заполнения льдом выработанного пространства; I, II, III, IV, V, VI – последовательность отработки

Применение данного способа невозможно без решения следующих вопросов: *производство и подача требуемых объемов льда, создание монолитного ледяного целика, поддержание необходимой скорости таяния льда на контакте «лед–горный массив» и скорости движения ледяного массива, обеспечение безопасности ведения горных работ под ледяным массивом.*

В работе [23] рассмотрена возможность использования в качестве закладочного материала глетчерного льда на руднике Бидновэдж (Норвегия). Глетчерный лед обладает свойствами текучести и хорошо заполняет лежащие под ним пустоты. Однако необходимо всегда иметь достаточный запас льда как для заполнения выработанного пространства, так и для восполнения растаявших участков. Наиболее

дешевым способом получения льда считается, по мнению норвежских исследователей, получение его из снега, лежащего на склонах гор, и из искусственного снега. Глетчерный лед предлагается аккумулировать в старом карьере для применения его в последующем на подземных работах. Приводятся расчеты экономической целесообразности применения глетчерного льда в качестве закладочного материала и описаны рудники, на которых можно применять данный способ.

На свинцовом руднике Вассабо (Швеция) проектируют закладку выработанного пространства льдом, формируемым непосредственно в очистном пространстве. Для этого после предварительного охлаждения горных выработок будут проводить намораживание льда из воды. Междуканальные целики извлекают по мере заполнения выработок льдом. Стоимость проекта оценивается в 3,3 млн франков [18].

Хорошие результаты применения ледовой закладки достигнуты на руднике Рэнкин в Канаде [17]. Лед с поверхности по специальной выработке подавали в шахту для закладки выработанного пространства. В течение года намораживали 25 000 м³ льда с затратами 0,12 долл. за 1 м³, закладка породой обходилась в 2 долл. Рудник получил годовую прибыль в сумме 50 000 долл.

В работах [4, 13] даются аналитические расчеты и обоснование применения системы разработки с закладкой выработанного пространства льдом при комбинированной отработке месторождения средней и большой мощности в горном массиве с положительной температурой

до плюс 8 °С и более. Усовершенствована система поэтажного обрушения с заполнением выработанного пространства, сформированного в старом карьере над рудным телом *искусственным ледником*, который, «обладая необходимой способностью движения, опускается в выработанное пространство и поддерживает вмещающий массив горных пород в устойчивом состоянии», не смешиваясь с отбитой рудой (рис. 4). Сделан вывод на основании законов гляциологии о том, что «массив льда обладает способностью движения в выработанное пространство со скоростью, превышающей скорость извлечения руды, т.е. скорость продвижения фронта очистных работ» [15].

Применение предлагаемой технологии позволяет снизить себестоимость подземной добычи до 15 норв.крон/т, приближаясь к себестоимости открытых горных работ (10 норв. крон/т), получить дополнительную прибыль от разработки участков залежей низкосортных руд.

Рассмотренные выше варианты добычи руд с ледяной или льдопородной закладкой применялись или *при наличии больших объемов искусственного льда*, или при необходимости использования охлаждающих установок для поддержания горного массива в отрицательных температурах.

Проблема формирования льдопородной закладки состоит в том, что применение этого вида закладки сдерживается большой продолжительностью затвердевания закладочного массива, отставанием объемов его образования от объема высокопроизводительных очистных работ.

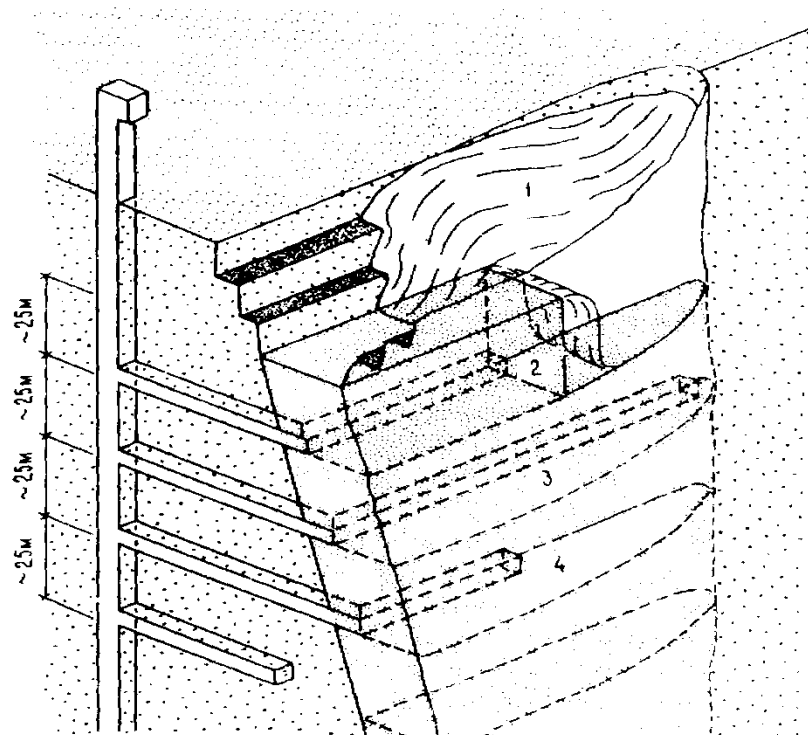


Рис. 4. Система разработки с закладкой выработанного пространства льдом:

1 – отработанный карьер, частично заполненный искусственным ледником; 2 – откаточный горизонт, расположенный на 25 м ниже дна карьера (показан ледник, сползающий в выработанное пространство); 3 – горизонт подсечки, на котором ведется бурение взрывных скважин вне зоны влияния других работ; 4 – подготовительный горизонт, на котором ведется проходка подготовительных выработок вне зоны влияния очистных работ

Задача оптимизации формирования ледяной и льдопородной закладок в подземных условиях *без применения охлаждающих установок* состоит в определении параметров, обеспечивающих минимум времени замерзания искусственного целика для набора необходимых прочностных свойств, *исследовании механизма замораживания ледяного и льдопородного целика* и разработке принципов формирования закладочного массива *без отставания от очистных работ*.

Основными параметрами, влияющими на время замораживания, являются:

- объем и начальная температура замораживаемой воды;
- температура рудничного воздуха и скорость его движения;
- температура горного массива;

- температура дробленых пустых пород, их количество и кусковатость (в случае использования пустых пород для формирования льдопородного закладочного массива);

- удельная теплоемкость воды, льда, породы;

- скрытая теплота кристаллизации воды;

- конечная температура закладочного массива.

Только при оптимальном соотношении всех этих параметров можно образовать монолитный искусственный целик (закладочный массив) с необходимыми прочностными свойствами за заданный период времени.

В конце 1990-х гг. проблему удалось решить, разработав математические модели формирования ледяной и льдопородной закладки для различных горно-

геологических условий криолитозоны и выполнив опытно-промышленные испытания на отечественных предприятиях [7, 8].

Исследования показали, что для получения закладочного массива с заданными прочностными свойствами за технологически необходимый период времени необходимо строго соблюдать предельное соотношение объемов воды с начальной температурой $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ и дробленой породы с различной степенью охлаждения (рис. 5).

Это имеет решающее значение при формировании льдопородного целика. Например, для получения монолитного искусственного закладочного массива (как следует из выполненных исследований – рис. 5), допускающего обнажение до 20–40 м, на единицу объема дробленых пород (заполнителя) с температурой $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ должно быть в 11 раз меньше объемов воды (вяжущего) с температурой $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Если воды будет подано больше, она не замерзнет в полном объеме, целик не охладится до требуемой температуры и не будут обеспечены его монолитность, устойчивость и прочностные свойства, технологический процесс добычи руд прервется.

На рис. 6 представлены зависимости времени замораживания льдопородной закладки (при предельных значениях соотношений масс породы и воды 10; 15; 20; 25; 30) от различных значений начальных температур породы, позволяющие выбрать оптимальное время замораживания льдопородного массива необходимой прочности.

Сравнение времени замораживания формируемых искусственных ледяного и льдопородного целиков мощностью 2,4 м показывает, что применение охлажденной породы ускоряет процесс замораживания несущего целика в три раза и более. Это позволяет увязать во времени процесс формирования закладочного массива в выработанном пространстве с технологиями разработки месторождений исходя из безопасных условий труда.

Аналитические решения были апробированы в натурных условиях отечественных горнопромышленных предприятий: Дукатский ГОК, Узельгинский рудник, Калгутинский рудник, Джидинский вольфрамо-молибденовый комбинат и др.

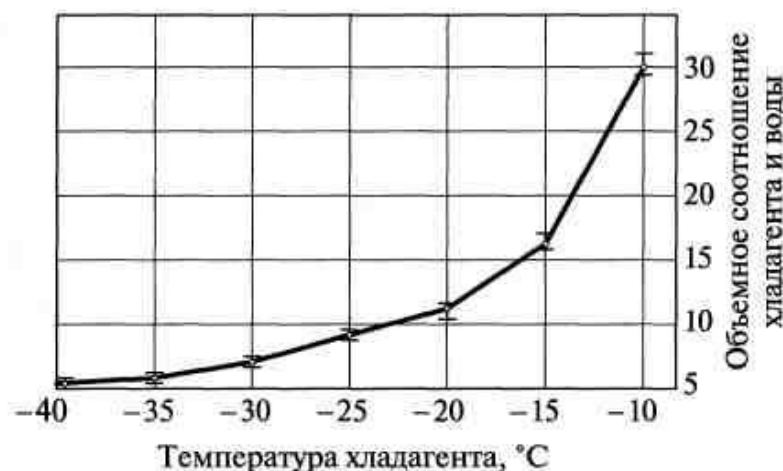


Рис. 5. Предельное соотношение льдопородного хладагента и воды в зависимости от температуры хладагента

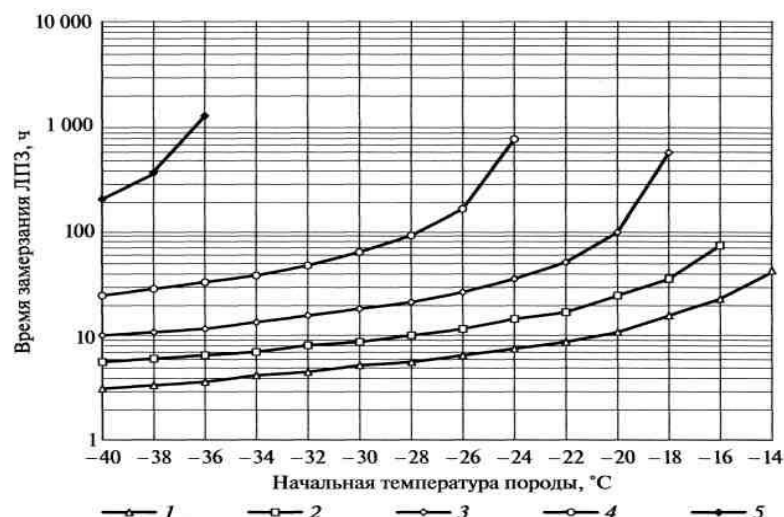


Рис. 6. Время замерзания ЛПС для различных соотношений V_n/V_v (V_n – объем породы (хладагента); V_v – объем воды):
1 – 1:10; 2 – 1:15; 3 – 1:20; 4 – 1:25; 5 – 1:30

Экотехнология разработки Дукатского месторождения. Рудные тела Дукатского месторождения имеют невыдержанные контакты с вмещающими горными породами. Опытнотомышленный участок одного из месторождений состоит из ряда взаимно пересекающихся жил, часть месторождения недостаточно разведана, контакты рудных тел определяются по результатам разведочных выработок. Исходя из горно-геологических условий принят вариант сплошной камерной системы разработки с льдопородной закладкой с применением самоходного оборудования (рис. 7) [7].

Узельгинский рудник. Выполненные опытнотомышленные проекты показали, что дистанционно управляемые погрузочно-доставочные машины (ПДМ с ДУ) позволяют изменить конструкцию днища камеры и сделать его плоским. Это исключает создание выпускных отверстий и снижает потери руды на 10–15 %.

Исключение выпускных отверстий (рис. 8) и качественное обустройство горного массива современной буровой тех-

никой (по паспортам БВР с оптимизированной линией наименьшего сопротивления W) всерами скважин 4 диаметром 65–145 мм из буровых штреков 3 вместе с доставкой отбитой руды мощной самоходной техникой 2 (с объемом ковша 5–8 м³) значительно повышает эффективность подземной разработки. Кроме того, применение ПДМ с ДУ позволяет извлечь рудную массу 1 из труднодоступных участков камеры, где при типовых вариантах разработки она была бы безвозвратно потеряна. Применение участков дробилок в комплексе с дистанционно управляемым оборудованием обеспечивает бесперебойную поточность движения горной массы по всей трассе и огромную производительность до 7–12 тыс. т руды в год на одного рабочего (!).

Применение дистанционно управляемых ПДМ позволяет увеличить производительность труда на 30–40 % за счет увеличения коэффициента использования машины, так как обеспечивается поточность движения рудной массы, исключается слеживаемость руды, сокращаются *потери руды на 15–20 %*.

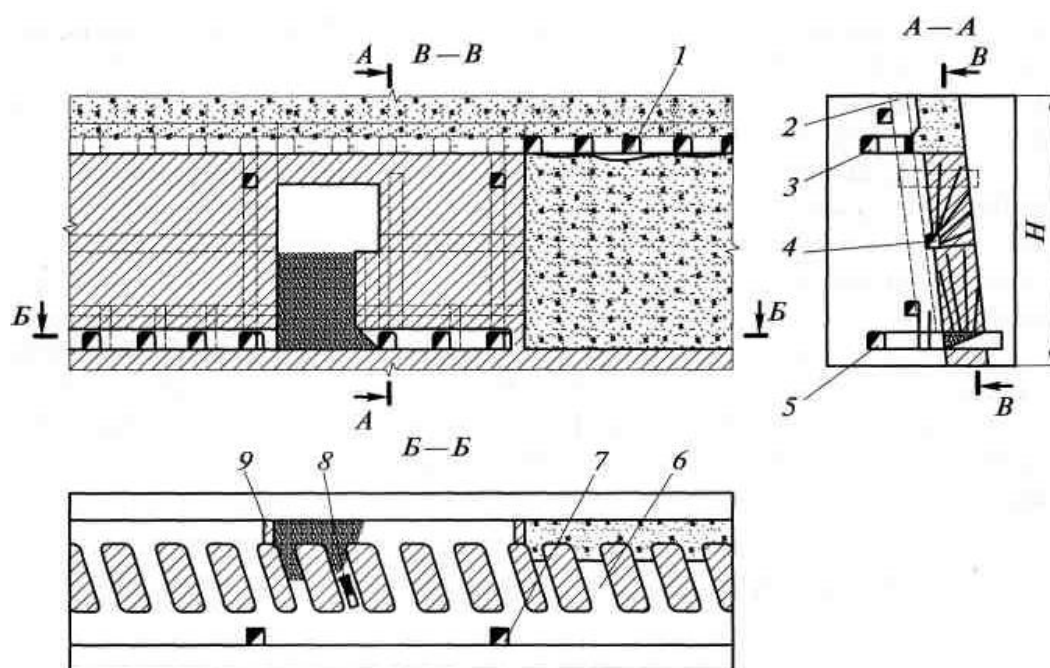


Рис. 7. Камерная система разработки с льдопородной закладкой в III рудной зоне Дукатского месторождения:

1 – закладочный орт; 2 – вентиляционный восстающий; 3 – вентиляционный штрек; 4 – буровая выработка; 5 – доставочный штрек; 6 – погрузочный заезд; 7 – рудоспуск; 8 – ПДМ с ДУ; 9 – изолирующая перемычка

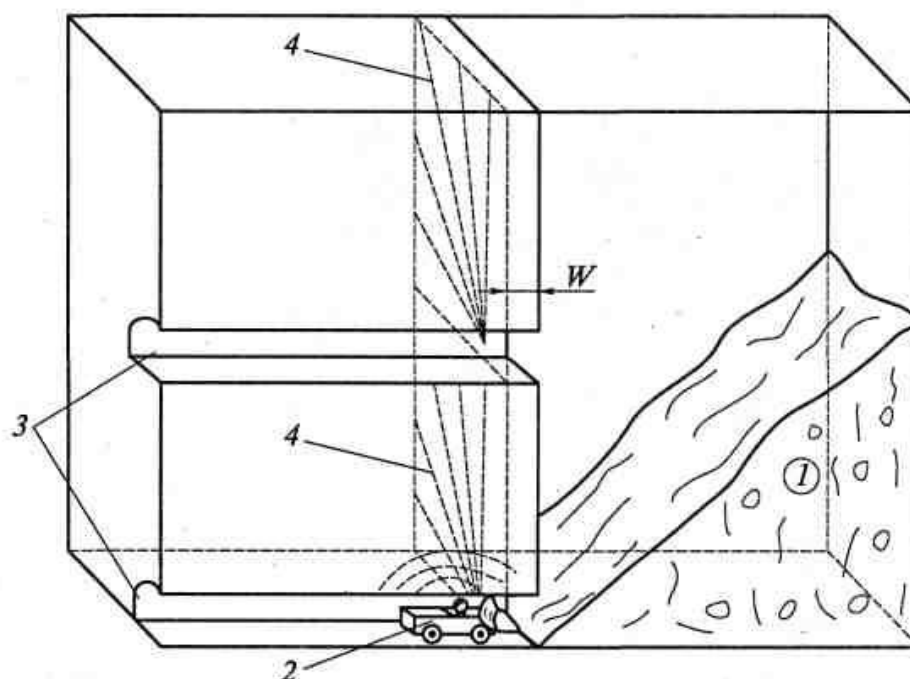


Рис. 8. Схема отработки рудного блока камерной системой с плоским дном и использованием дистанционно управляемой погрузочно-доставочной машины:

1 – отбитая руда; 2 – погрузочно-доставочная машина с дистанционным управлением; 3 – буровые штреки; 4 – веера скважин; W – линия наименьшего сопротивления

Как показали результаты, снижение потерь руды при использовании ПДМ с ДУ позволяет извлекать *из каждой камеры* Узельгинского рудника дополнительно 4 200 т руды [7].

Решение проблемы экологически безопасной разработки многолетнемерзлых урановых месторождений Восточной Сибири. Значительные резервные запасы урана России расположены в Эльконском урановорудном районе Восточной Сибири на Алданском щите.

Одними из главных проблем освоения этих месторождений являются *борьба с пылеобразованием и обеспечение радиационной безопасности при добыче урановой руды в зоне вечной мерзлоты*. Запыленность рудничного воздуха в шахтах и рудниках в области вечной мерзлоты нередко *в десятки раз превышает санитарные нормы*. При этом поиск эффективных средств борьбы с пылью осложняется недостаточной изученностью особенностей и условий пылеобразования, естественного пылеосаждения, а также связи этих процессов с тепловым режимом выработок, пройденных по многолетнемерзлым породам. Характерной особенностью пылевого режима рассматриваемых рудников является его зависимость от времени года: результаты исследований показали, что при одинаковых условиях транспортирования и проветривания *концентрация пыли в рудничном воздухе зимой оказывается в 6–9 раз выше, чем летом* [5].

Для уменьшения столь большой воздухопотребности рудников необходимы: выбор *оптимальной системы разработки*, исключающей продолжительное нахождение отбитой горной массы в блоках; создание вентиляционных концентрационных горизонтов, где будет собираться и осаждаться отработанный за-

грязнённый воздух; расчет оптимальных вариантов буровзрывных работ; исключение рабочих мест на исходящей вентиляционной струе.

Минимизация техногенной нагрузки обеспечивается за счет использования отходов обогатительного передела в качестве закладочного материала; значительного снижения расхода крепежного леса; освобождения площади отвалов пустых пород; возможной утилизации отходов ТЭЦ и обогатительного передела на территории экосистемы *в качестве вяжущего материала при формировании закладочного массива* (рис. 9).

В целом, выполненные исследования и опытно-промышленные испытания на предприятиях недропользования в условиях криолитозоны России показали, что системы разработки месторождений подземным способом с ледяной и льдопородной закладкой обеспечивают экологическую и национальную безопасность как *за счёт предотвращения загрязнения воздуха и сохранения от уничтожения лесных угодий*, так и *снижения потерь и разубоживания* ценных руд и стратегического сырья [3].

Кроме того, созданная технология позволяет [3, 7]:

- утилизировать не менее 80 % отвалных пород и до 40 % объёма хвостов обогащения, используя их в качестве наполнителя при изготовлении льдопородной закладки;
- *снизить интенсивность пыли в вентиляционном выбросе из шахты почти в 2 раза (в 1,84 раза)*;
- обеспечить *безопасность труда* с одновременным *снижением техногенной нагрузки* на экосистему *за счёт локализации технологической пыли в подземном очистном пространстве и на всём пути движения горной массы*;

Таблица 1

Сокращение площади нарушения земной поверхности
при использовании льдопородной закладки

Виды экологического эффекта	Удельное снижение поражения поверхности, км ² /т добычи	Экологический эффект от снижения площади, км ² /г, уничтожения естественной биоты при создании инфраструктуры поверхностного комплекса предприятий при объеме годовой добычи, т			
		1·10 ⁶	2·10 ⁶	5·10 ⁶	10·10 ⁶
Снижение объема твердых отходов	0,52	0,52	1,04	2,6	5,2
Увеличение производительности труда на действующем руднике	1,82	1,82	3,46	9,1	18,2
Снижение расхода лесоматериалов (непрямой эффект)	2,30	2,30	4,60	11,5	23,0
Утилизация технологической пыли в подземном пространстве	0,06	0,06	0,12	0,3	0,6
Применение вахтового метода разработки	9,10	9,10	18,20	45,6	91,0

- кардинально сократить потребность предприятий в лесоматериалах, используемых для управления горным давлением: такое снижение расхода эквивалентно сохранению от вырубки 2,3 м² лесных угодий на 1 т добычи рудного сырья (табл. 1);

- при строительстве на основе геотехнологии со льдопородной закладкой небольшого горного предприятия с годовой добычей в 250–300 тыс. т в год получить экологический эффект, выраженный в сохранении от полного разрушения 2 км² уникальной биоты Сибири;

- сократить общую численность трудящихся на 15–25 % (в зависимости от применяемой геотехнологии), что даёт экологический эффект от снижения площади полного уничтожения биоты при создании жилой инфраструктуры в раз-
мере 1,82 км²/т добычи.

- повысить экономическую эффективность в условиях Дукатского месторождения, по сравнению с применяемой технологией, на 4,84 млн у.е/год.

Другой проблемой обеспечения экологической безопасности является разработка *маломощных месторождений*

в крепких горных массивах, в которых залегают огромные запасы ценных металлов, редкоземельных руд.

Принципиально новым техническим решением добычи маломощных ценных крепких руд с обеспечением высокого качества извлечения, производительности предприятия и экологической безопасности является технология добычи полезных ископаемых *выбуриванием скважин большого диаметра* [7, 9, 23–30]. Эта технология была испытана на Ловозёрском ГОКе (рис. 10).

Опытно-промышленные испытания комбайна КД800Э в условиях Ловозёрского ГОКа позволили:

- повысить производительность труда в 1,5–2,5 раза и снизить трудозатраты на добыче и переработке руды;

- исключить стадии крупного, среднего, мелкого дробления и грохочения при обогащительном переделе с экономией расхода электроэнергии до 50 %;

- повысить качество извлечения руд из недр – снизить потери с 18–20 до 3–5 %, разубоживание с 40–46 до 20–22,5 %;

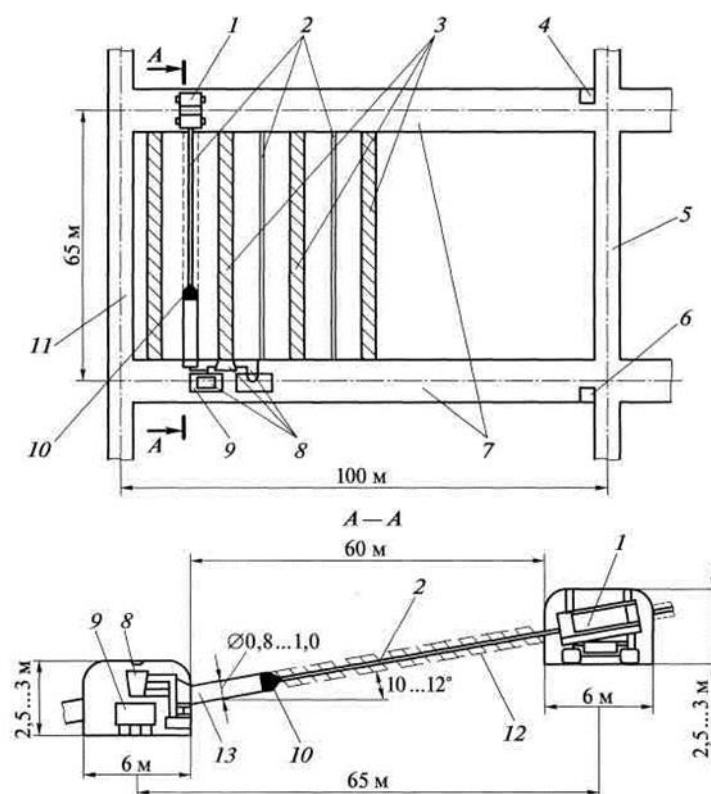


Рис. 10. Технологическая схема опытно-промышленного участка рудника «Карнасурт» Ловозёрского ГОКа:

1 – добычной комбайн КД800Э; 2 – пионерные пилот-скважины; 3 – расширенные скважины, заполненные закладочной смесью; 4 – пульпосборник; 5 – грузо-людовой квершлаг; 6 – восстающий; 7 – буровые штреки; 8 – устройство для обезвоживания и разделения бурового шлама; 9 – вагонетки; 10 – расширитель; 11 – вентиляционный квершлаг; 12 – рудная (балансовая) залежь; 13 – расширяемая скважина без крепления

- сократить численность подземных рабочих на 15–20 %;

- улучшить безопасность горных работ за счет снижения проявлений горного давления, объемов взрывных работ, предотвращения породных взрывов, пожароопасности, улучшения вентиляции рабочих мест, вывода людей из очистного пространства;

- механизировать и автоматизировать основные технологические процессы, значительно сократить объемы ручного труда;

- создать технологию добычи руд из маломощных удароопасных залежей без присутствия людей в очистном пространстве;

- осуществить безопасную, экологически чистую циклично-поточную тех-

нологию добычи и переработки полезного ископаемого;

- повысить экономическую эффективность по сравнению с применяемой технологией на 1,5–6 млн у.е/год [7, 8].

Национальной безопасности России угрожает выборочная, варварская отработка только богатых участков руд вследствие того, что оставшиеся участки месторождения с небольшим содержанием полезных ископаемых становятся нерентабельными, их разработка становится экономически нецелесообразной, убыточной. Это может привести к полному закрытию (ликвидации) горнорудных предприятий, ликвидации отрасли стратегического сырья.

Наглядным примером может служить судьба оловодобывающей промышленности в Приморье!

Хрустальненский горно-обогатительный комбинат (ХГОК) (1942–1992) – лидер по добыче и обогащению полиметаллической руды в посёлке городского типа Кавалерово Приморского края: в советские годы ХГОК давал *около 30 % всего добытого олова в стране.*

«С середины 1990-х годов предприятия оловодобывающей промышленности были вынуждены отрабатывать только участки богатых руд. ... в 2001 г. обанкротился Хрустальненский ГОК – добыча олова прекращена, а шахты затоплены. ... Оставшееся оборудование демонтировали и вывезли, всё остальное растащили...» [6].

Заключение

Новые технологии подземной добычи руд с *оптимизированным формированием льдопородной закладкой выработанного пространства без охлаждающих установок* и выбуриванием скважинами большого диаметра являются наиболее приемлемыми для условий криолитозоны Сибири, поскольку служат гарантией (как показывают опытно-промышленные испытания на отечественных горных предприятиях), высокой экономической эффективности, полноты выемки ценных руд за счёт снижения потерь и разубоживания руд до минимальных величин, обеспечивают качественную и высокопроизводительную добычу полезных ископаемых, экологическую и национальную безопасность России.

Библиографический список

1. Бакакин В.П. Лед в качестве материала для закладки выработанного пространства. – М.: Издательство АН СССР, 1959. – 67 с.
2. Бронников Д.М. Отчет о результатах командировки в Швецию на международный симпозиум по разработке месторождений полезных ископаемых с закладкой. – М.: ИПКОН АН СССР, 1983. – 27 с.
3. Галченко Ю.П., Михайлов Ю.В., Сабянин Г.В. Экономическая эффективность применения льдопородной закладки при подземной разработке месторождений в криолитозоне // Экологические системы и приборы. – 2005. – №5. – С. 28-31.
4. Геотехнические вопросы освоения Севера. Под ред. О. Андерсленда и Д. Андерсона. – М.: Недра, 1983. – 551 с.
5. Камнев Е.Н., Михайлов Ю.В., Морозов В.Н. Проблемы и перспективы освоения урановых месторождений Восточной Сибири // Горная промышленность. – 2008. – №2. – С. 81-91.
6. Луняшин П. Судьба российской оловодобывающей промышленности // Горнопромышленные ведомости. – 2012. – № 8.
7. Михайлов Ю.В. Подземная разработка месторождений полезных ископаемых. – М.: Издат. Центр «Академия», 2008. – 320 с.
8. Михайлов Ю.В. Экологические основы недропользования. М.: Изд-во МНЭПУ, 2016. – 348 с.
9. Михайлов Ю.В., Галченко Ю.П. Экотехнологии подземной добычи ценных руд в многолетнемерзлых массивах Сибири и Дальнего Востока // Экологический вестник России. – №10. – 2014. – С. 46-53.
10. Необутов Г.П. Повышение эффективности добычи руды с использованием льдопородной закладки / Г. П. Необутов, Д. Н. Петров // Известия Самарского науч. центра. – 2011. – Т. 13(39), № 1(5). – С. 1274-1276.
11. Петров Д. Н. Обоснование рациональных параметров формирования льдопородной закладки при подземной разработке месторождений криолитозоны: дисс. канд. техн. наук: 25.00.22 / Петров Дмитрий Николаевич. – Якутск, 2015. – 153 с.
12. Указ Президента РФ от 2 мая 2014 г. № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации».
13. Фангель Х. Закладка выработанного пространства льдом // Разработка месторождений с закладкой. – М.: Мир, 1987. – С. 486-504.
14. Хоберстофер Г., Норен Т. Использование льда в качестве закладочного материала. Патент Швеции, кл. Е 21 F, 15/00, № 412623, 1978.
15. Cluff, D. Evaluation of frozen backfill for open stope mining in permafrost conditions. [Электронный ресурс] / D. L. Cluff, J. Gallagher, A. Jalbout, V. Kazakidis, G. Swan // CIM 2008. – Режим доступа: [www.infomine.com/publications/docs/Cluff 2008.ppt](http://www.infomine.com/publications/docs/Cluff%202008.ppt)

16. Fredrikson H. Metallernas Gjutning. Kompendium, KTH, Stockholm, 1978.
17. Frozen backfill research for Canadian mines / G. Kight, M. Harris, B. Gorski, and J.E. Udd // Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET). – 1994. – 21 p.
18. Glen L.W. Experiments on the Deformation of Ice. Journal of Glaciology. Vol. 2. Oxford, 111-114 p.
19. International Union of Theoretical and applied mechanics. Поток умеренного льда в вертикальной шахте с грубыми поверхностями стен. Копенгаген, 1979. – С 309-324.
20. Linden Eike von der. Gefrierversatz für Bergwerke in der Arktis. «Erzmetall», 1980, v 33, № 6, pp. 330-334.
21. Mining with ice-backfill. Fangel Henning. «Western Miner», 1982, v. 55, № 5, p. 48-50.
22. Лед в шахте: Способ закладки льдом выработанного пространства в шахтах. Ny teknik, 1980, № 34, p. 8.
23. Davis C.H., Paterson J. H. Progress with thin seam mechanization. Mining Engineer, 1965, 61, № 5, pp. 54-58.
24. Stop Boring Techniques in South African Gold Mining. Mining Magazine, London, Mar., Anon., 1975, pp 108.
25. Stacey.T.R., 1982, Mechanical Mining of Strong Brittle Rock by Large Diameter «Stopecoring», Proc. 14th Can. Symp. Rock Mechanics, CIM Special, vol. 30, pp. 96-99.
26. Scobl M., Dimitrakopoulos R., etc. Machine mining of narrow, hardrock orebodies. // CIM Bulletin, 1990, Vol. 83, № 935, pp. 105-112.
27. Handbook of underground drilling. Tamrock Drills SF, Tampere. 1990. 328 p.
28. . Non-explosive breaking of rock-latest development // Mining and Eng. J. – 1985. – №4084. Pp. 15-27.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2018, No. 1, pp. 72-86

Title:	OPTIMUM METHODS OF UNDERGROUND ORE MINING IN SIBERIA
Author:	Name & Surname: Jurij V. Mihaylov Company: International Independent Ecological-Political University Address: 20, st. Cosmonaut Volkov, Moscow, Russia, 127299 Scientific Degree: Dr. Sci. (Tech.) Contacts: mikhaylov_44@mail.ru
DOI:	10.17073/2500-0632-2018-1-72-86
Abstract:	The problem of underground ore mining in Siberian lies in developing deposits in permafrost conditions – cryolithic zone, which covers 64% of the territory of Russia. The difficulty of completeness of mineral extraction with ensuring environmental safety in the permafrost zone lies primarily in the extremely high sensitivity of this zone to any technogenic impact. Mining industry has a great impact on the entire biosphere: atmosphere, lithosphere, hydrosphere, and, first of all, causes air pollution. To manage air pollution during subsoil use, improving mining methods and techniques, decreasing emission of toxic gases, dust and capturing them in mined-out space to prevent their release into the atmosphere is required. The question of national security of Russia is selective mining of only rich ore areas, which leads to premature closure of mining enterprises and losses of strategic raw materials. The situation can be corrected by applying methods to avoid large losses of valuable ores in the subsoil. In this paper, the methods are considered that ensure high-performance mining, environmental safety and national security in the conditions of permafrost zone of Siberia.
Keywords:	underground mining; cryolithic zone/permafrost; foreign experience; environmental safety; analytical solution to the problem; pilot industrial testing of new methods; air pollution management flow sheets; new methods, including development of deposits with ice and ice-rock backfilling; losses and dilution of valuable ores; national security.
References:	1. Bakakin V.P. Led v kachestve materiala dlja zakladki vyrabotannogo prostranstva. [Ice as a material for bookmarking the worked out space]. Moscow, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1959, 67 p. 2. Bronnikov D.M. Otchet o rezul'tatah komandirovki v Shveciju na mezhdunarodnyy seminar po problemam bezopasnosti pri razrabotke podzemnykh rudnykh mestорождений. Moscow, 1980, 10 p.



- narodnyj simpozium po razrabotke mestorozhdenij poleznyh iskopae-myh s zak-ladkoj [*Report on the results of a business trip to Sweden for an international symposium on the development of mineral deposits with a bookmark*]. Moscow, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Academy of Sciences of the USSR Publ., 1983, 27 p.
3. Galchenko Ju.P., Mihajlov Ju.V., Sabjanin G.V. Jekonomicheskaja jeffektivnost' primenenija l'doporodnoj zakladki pri podzemnoj razrabotke mes-torozhdenij v kriolitozone [*Economic efficiency of the application of the ice-bottom laying in the underground development of deposits in the permafrost zone*]. Ecological Systems and Devices, 2005, no. 5, pp. 28-31.
 4. Geotekhnicheskie voprosy osvoenija Severa [*Geotechnical issues of develop-ment of the North*]. Ed. by O. Andersland and D. Anderson. Moscow, Nedra, 1983, 551 p.
 5. Kamnev E.N., Mihajlov Ju.V., Morozov V.N. Problemy i perspektivy osvoenija uranovyh mestorozhdenij Vostochnoj Sibiri [*Problems and prospects of development of uranium deposits of Eastern Siberia*]. Mining Industry Jour-nal, 2008, no. 2, pp. 81-91.
 6. Lunjashin P. Sud'ba rossijskoj olovodobychi [*The fate of Russian tin mining*]. Gornopromyshlennye vedomosti, 2012, no. 8.
 7. Mihaylov Ju.V. Podzemnaja razrabotka mestorozhdenij poleznyh iskopae-myh [*Underground mining of mineral deposits*]. Moscow, Publ. Center "Acad-emy", 2008, 320 p.
 8. Mihaylov Ju.V. Jekologicheskie osnovy nedropol'zovanija [*Ecological basis of subsoil use*]. Moscow, International Independent Ecological-Political Univer-sity Publ., 2016, 348 p.
 9. Mihaylov Ju.V., Galchenko Ju.P. Jekotehnologii podzemnoj dobychi cennyh rud v mnogoletnemmerzlyh massivah Sibiri i Dal'nego Vostoka [*Ecotechnology of underground mining of valuable ores in permafrost in Siberia and the Far East*]. Jekologicheskij vestnik Rossii, no. 10, 2014, pp. 46-53.
 10. Neobutov G.P. Povyshenie jeffektivno-sti dobychi rudy s ispol'zovaniem l'doporodnoj zakladki [*Increasing the efficiency of ore extraction using an ice-dirt fill*]. G.P. Neobutov, D.N. Petrov. Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Izvestia RAS SamSC), 2011, T. 13(39), no. 1(5), pp. 1274-1276.
 11. Petrov D.N. Obosnovanie racio-nal'nyh parametrov formirovanija l'dopo-rodnoj zakladki pri podzemnoj razrabotke mestorozhdenij kriolitozony. Diss. kand. tehn. nauk. [*Substantiation of rational parameters for the formation of an ice-dirt fill in the underground development of deposits of cryolithozone. Cand. Tech. Sci. diss.*]. Petrov Dmitrij Nikolaevich. Yakutsk, 2015, 153 p.
 12. Ukaz Prezidenta RF ot 2 maja 2014 g. № 296 "O suhoputnyh territorijah Arktiche-skoj zony Rossijskoj Federacii" [*Presidential Decree of May 2, 2014 No. 296 "On the Land Regions of the Arctic Zone of the Russian Federation"*].
 13. Fangel' H. Zakladka vyrabotannogo prostranstva l'dom [*Laying the worked out space with ice*]. Razrabotka mestorozhdenij s zakladkoj [*Development of deposits with a fill*]. Moscow, Mir, 1987, pp. 486- 504.
 14. Hoberstofer G., Noren T. Ispol'zovanie l'da v kachestve zakladochnogo ma-teriala [*Use of ice as a backing material*]. Patent of Sweden, cl. E 21 F, 15/00, no. 412623, 1978.
 15. Cluff, D. *Evaluation of frozen backfill for open stope mining in permafrost conditions*. D.L. Cluff, J. Gallagher, A. Jalbout, V. Kazakidis, G. Swan. CIM 2008. Available at: www.infomine.com/publications/docs/Cluff2008.ppt
 16. Fredrikson H. *Metallernas Gjutning*. Kompendium, KTH, Stockholm, 1978.
 17. *Frozen backfill research for Canadian mines*. G. Kight, M. Harris, B. Gor-ski, and J.E. Udd. Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET), 1994, 21 p.
 18. Glen L.W. *Experiments on the Deformation of Ice*. Journal of Glaciology, vol. 2, Oxford, pp. 111-114.



19. Int. Union of Theor. and applied mechanics. Potok umerennogo l'da v vertikal'noj shahte s grubymi poverhnostjami sten [*Flow of moderate ice in a vertical shaft with coarse wall surfaces*]. Copenhagen, 1979, pp. 309-324.
20. Linden Eike von der. *Gefrierversatz fur Bergwerke in der Arktis*. "Erzmetall", 1980, vol. 33, no. 6, pp. 330-334.
21. *Mining with ice-backfill*. Fangel Henning. "Western Miner", 1982, vol. 55, no. 5, pp. 48-50.
22. Led v shahte: Sposob zakladki l'dom vyrabotannogo prostranstva v shahtah [*Ice in the mine: Method of laying the mined space in the mines with ice*]. Ny teknik, 1980, no. 34, 8 p.
23. Davis C.H., Paterson J. H. *Progress with thin seam mechanization*. Mining Engineer, 1965, 61, no. 5, pp. 54-58.
24. *Stop Boring Techiques in South African Gold Mining*. Mining Magazine, London, Mar., Anon., 1975, pp. 108.
25. Stacey T.R. *Mechanical Mining of Strong Brittl Rock by Large Diameter "Stopeoring"*. Proc. 14th Can. Symp. Rock Mechanics, 1982, CIM Special, vol. 30, pp. 96-99.
26. Scobl M., Dimitrakopoulos R., et al. *Machine mining of narrow, hardrock orebodies*. CIM Bulletin, 1990, vol. 83, № 935, pp. 105-112.
29. *Handbook of underground drilling*. Tamrock Drills SF, Tampere, 1990, 328 p.
30. *Non-explosive breaking of rock-latest development*. Mining and Eng. J., 1985. no. 4084, pp. 15-27.