УДК 622.02/.271:551.34

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ ГОРНЫХ ПОРОД К ВЫЕМКЕ БЛОКАМИ АКТИВНОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ

Панишев С.В.

*Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск,
e-mail: s.v.panishev@igds.ysn.ru, bsdpsv@mail.ru*

Дана обобщенная характеристика открытого способа разработки месторождений, включающая перечень необходимых и обязательных процессов горных работ. Перечислены основные способы подготовки мерзлого массива горных пород к дальнейшей разработке, нашедшие наибольшее применение в практике эксплуатации россыпных месторождений криолитозоны, такие как буровзрывное или механическое рыхление с использованием различных рыхлительных агрегатов, естественное оттаивание под действием солнечной радиации, искусственное оттаивание мерзлых горных пород гидроигловым методом, способ гидравлического оттаивания с использованием питающей и дренажной канав с созданием наклонных фильтративных дренажных каналов, способ подготовки мерзлых пород россыпных месторождений к промывке с использованием теплообразующего реагента и другие способы подготовки. Указан общий недостаток вышеописанных технологических приемов ведения горных работ с использованием классических элементов открытых горных работ: положительный эффект растепления, разупрочнения массива под воздействием солнечной инсоляции осуществляется здесь путем использования одной или двух поверхностей обнажения – обычно это поверхность полигона, или откос и площадка уступа. Рассмотрен способ подготовки горных пород к выемке в условиях открытой разработки месторождений криолитозоны, предполагающий усиление воздействия солнечной инсоляции на массив многолетнемерзлых горных пород, а соответственно, его разупрочнение, создание зон интенсивного тепломассопереноса в горных породах путем формирования блоков активного климатического воздействия. Изложены основные задачи исследований, которые необходимо решить для оценки эффективности предлагаемой технологии ведения горных работ.

Ключевые слова: карьер, криолитозона, подготовка горных пород к выемке, оттайка, разупрочнение, блоки активного климатического воздействия

TO THE QUESTION OF JUSTIFICATION OF EFFICIENCY OF PREPARATION OF ROCKS FOR EXCAVATION BLOCKS ACTIVE CLIMATE IMPACT IN TERMS OF OPEN PIT MINING OF DEPOSITS OF PERMAFROST ZONE

Panishev S.V.

*Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk,
e-mail: s.v.panishev@igds.ysn.ru, bsdpsv@mail.ru*

A generalized characteristic of the open method for the development of deposits, including a list of necessary and mandatory mining processes is given. Lists the main methods of preparation of frozen rocks to the further development, which has found greatest application in the exploitation of placer deposits of the permafrost zone, such as drilling and blasting or mechanical tillage using various ripping units, natural thawing under the action of solar radiation, artificial thawing of frozen rocks gidropony method, the hydraulic method of thawing using the supply and drainage ditches, with the creation of oblique filtration drainage canals the method of preparing the frozen rocks of alluvial deposits washed out with the use of heat-producing reagent, and other methods of preparation. Set the total disadvantage of the above technological methods of mining using the classical elements of the career space: the positive effect of unfreezing, softening of the array under the influence of solar insolation carried out here by using one or two surfaces of outcrops – usually the surface of the ground, or the slope and the platform of the ledge. The method of preparation of rocks for excavation in open fields development in permafrost zone, suggesting the impact of solar insolation on the array of permafrost rocks, and consequently weakening, the establishment of zones of intensive heat and mass transfer in rocks by forming blocks of active climate impact. The main tasks of research that need to be solved to assess the effectiveness of the proposed mining technology are outlined.

Keywords: open-cast mining, permafrost, preparation of rocks for excavation, thawing, softening, blocks active climate impact

Республика Саха (Якутия) – самый крупный территориальный субъект Российской Федерации, а вся территория Якутии входит в зону многолетней мерзлоты. Значительная часть бюджета республики формируется за счет минерально-сырьевого комплекса, что предопределяет широкое развитие горных работ на ее территории и нахождение в от-

работке множества месторождений. При этом следует отметить, что по имеющимся данным ученых-экологов на 63 % суши Земли, пригодной для освоения, природные экосистемы уже разрушены (или уничтожены), что не позволяет сохранять благоприятную экологическую обстановку в ряде регионов [1]. Поэтому разработка и обо-

снование технических решений, направленных на повышение эффективности горных работ, снижение экологической нагрузки на окружающую среду является актуальной и важной задачей.

Целью данного исследования явилась разработка стратегии обоснования эффективности способа открытой разработки месторождений криолитозоны с новым элементом карьерного пространства – блоками активного климатического воздействия, обеспечивающего снижение себестоимости ведения горных работ и уменьшение негативного влияния на окружающую среду.

Исходным материалом для аналитического исследования явилась совокупность технологий, способов подготовки и разработки грунтов в условиях криолитозоны.

Исследованиями многих ученых установлено, что прочность пород различного гранулометрического состава возрастает с понижением температуры. Так, например, Н.А. Цытовичем определено увеличение прочности глинистых грунтов более чем в 8 раз при понижении температуры до -10°C [2]. Экстремальные суровые климатические условия и многолетняя мерзлота значительно осложняют ведение горных работ в таких условиях и требуют особого подхода к технологическим решениям, которые должны базироваться на прогнозе и учете температурно-механического состояния массива пород при технологических воздействиях, обосновании способов подготовки и разработки многолетнемерзлых пород к выемке и их разупрочнению.

Основными способами подготовки мерзлых пород к разработке в таких условиях являются естественная и искусственная оттайка, механическое и взрывное рыхление.

Способы подготовки путем естественной и искусственной оттайки основаны на учете известных распределений температуры в горных породах, в зависимости от глубины в различные периоды времени и зависимостях сопротивления мерзлых грунтов на изгиб разрыв и сжатие от их температуры [2–4]. Самый простой и дешевый способ разупрочнения мерзлых пород – это естественное оттаивание многолетнемерзлых пород под воздействием солнечной радиации. Он широко применяется в сочетании с послойным оттаиванием, когда требуется осуществить ускоренную оттайку на максимальную мощность. Интенсивность оттайки зависит от частоты снятия талого слоя, который рекомендуется снимать не реже 1

раза в сутки. Такое оттаивание позволяет разрабатывать россыпные месторождения до глубины 6–8 м.

Искусственная оттайка предполагает затопление поверхности, игловую гидрооттайку, фильтрационно-дренажную оттайку, оттайку при помощи электрического тока, комбинированные способы оттайки, оттаивание открытым огнем и еще множество различных комбинаций технических решений.

Наиболее распространенным методом здесь является гидроигловой, нашедший наибольшее применение на дражных полигонах. Это позволяет интенсифицировать технологические процессы и увеличить глубину открытой разработки россыпи.

В условиях, когда коэффициент фильтрации рыхлых отложений, слагающих торфа, превышает 50 м/сутки, применяют фильтрационно-дренажную оттайку, которая может применяться при подготовке пород к выемке.

Так, например, известен способ гидравлического оттаивания включающий удаление почвенно-растительного слоя на оттаиваемом участке, сооружение параллельных питающих и дренажной канавы, пробуривание между ними линейных рядов скважин, размещение в нижних и верхних частях скважин рассредоточенных зарядов ВВ. Глубина скважин и масса зарядов ВВ увеличиваются в направлении от питающей к дренажной канаве. Взрывание зарядов ВВ производят с замедлением от верхнего заряда к нижнему и с замедлением в направлении от питающей канавы к дренажной, создавая таким образом наклонные фильтрационные каналы в массиве мерзлых горных пород и обеспечивая оттаивание пород путем движения подогретой за счет солнечной энергии воды через питающую канаву и фильтрационные каналы к мерзлым породам [5].

Из способов подготовки пород к выемке с гидравлической оттайкой заслуживает внимание изобретение [6]. На практике, подача жидкости на подготавливаемый полигон, осуществляемая по наземным коммуникациям, часто осложнена рельефными условиями, удаленностью водных источников, неустойчивостью лежащих на дневной поверхности оттаявших пород и т.д. Для упрощения подачи жидкости на подготавливаемый полигон предложено жидкость подавать с аэростатического аппарата, размещенного над подготавливаемым полигоном.

Авторами [7] предложен способ подготовки мерзлых россыпных месторождений к промывке, включающий удаление верхнего слоя грунта до металлосодержащих песков и оттайку мерзлого грунта распределенным на его поверхности теплообразующим реагентом – плавом хлоридов в сухом виде.

Механическое рыхление с использованием бульдозерно-рыхлительных агрегатов широко распространено при разработке крепких, глинистых, мерзлых, сцементированных и рыхлых пород. Здесь различают мелкое рыхление (на глубину 0,2–0,5 м) и глубокое рыхление – на глубину более 0,5 м. Цель мелкого рыхления – повышение интенсивности естественной оттайки и облегчение послойной отработки сцементированных или глинистых пород. Глубокое рыхление применяют на вскрышных работах, а также при проведении открытых выработок различного назначения.

При взрывных работах различают мелкошпуровое рыхление, рыхление взрывными скважинами и взрывными выработками. Буровзрывное рыхление нашло наибольшее применение на вскрышных и горно-подготовительных работах.

Результаты исследований по разупрочнению, подготовке мерзлых пород к выемке и разработке мерзлых россыпей изложены во многих работах [8–10].

Вопрос обоснования эффективных технологических решений актуален на любом этапе открытых горных работ. Главная задача обоснования технических решений при открытой разработке месторождения всегда одна – найти оптимальный (рациональный) способ подготовки, выемки, транспортировки горной массы, обеспечивающий максимальное соотношение между полезным эффектом и затратами на его получение.

Путей обоснования рациональных технических решений может быть множество, но при этом для открытого способа разработки характерны такие общие, базовые закономерности, как цикличность развития горных работ, динамичность рабочих забоев, соразмерность и динамичность развития горных работ на смежных уступах карьера, которые в обязательном порядке отражаются при проектировании карьеров [11].

Анализ основных способов подготовки мерзлых пород к выемке показывает, что самым простым и малозатратным способом подготовки пород к выемке является естественная оттайка. Недостаток данного способа – ограничение по глубине оттаявшего слоя и зависимость от климатических условий.

Воздействие солнечной радиации распространяется только на поверхность полигона.

Искусственная оттайка предполагает интенсификацию этого процесса по глубине полигона путем использования различных способов и средств. Недостаток – дополнительные материальные затраты по отношению к способу разупрочнения пород путем естественной оттайки.

Механическое рыхление предполагает воздействие на массив в поверхностном слое породы на заданную величину. Недостаток – негативное экологическое воздействие и материальные затраты.

Взрывное рыхление предполагает воздействие разрушения на заданную глубину. Недостаток – негативное экологическое воздействие, материальные затраты, ограничение по возможности применения на алмазоносных россыпных месторождениях (по критерию сохранности кристаллов алмазов).

Анализ технологий, способов подготовки и разработки грунтов в условиях криолитозоны показал, что возможности использования солнечной радиации как самого дешевого способа воздействия на массив многолетнемерзлых пород можно значительно расширить. Все вышеописанные технологические приемы ведения горных работ и способы подготовки многолетнемерзлых пород к выемке в условиях Севера с использованием классических элементов карьерного пространства имеют один общий недостаток: положительный эффект растепления, разупрочнения массива под воздействием солнечной инсоляции осуществляется путем использования одной или двух поверхностей обнажения – обычно это поверхность полигона или откос и площадка уступа.

На рис. 1 на примере одного из месторождений центральной Якутии показана динамика температурных полей в массиве многолетнемерзлых пород [12].

Воздействие солнечной инсоляции на массив многолетнемерзлых горных пород, а соответственно, его разупрочнение можно усилить, создавая зоны интенсивного тепломассопереноса в горных породах путем формирования новых элементов карьерного пространства – блоков активного климатического воздействия (далее – блоки АКВ) [13].

И в данном случае блок АКВ в поперечном сечении имеет уже не одну-две поверхности обнажения, а три, что при определенных условиях оказывает существенное влияние на его термомеханическое состояние (рис. 2).

Рис. 1. Температура массива многолетнемерзлых пород по глубине наблюдательной скважины в течение года

Рис. 2. Подготовка горных пород к выемке блоками активного климатического воздействия

Предлагаемый способ открытой разработки месторождений криолитозоны с новым элементом карьерного пространства – блоками активного климатического воздействия включает подготовку земной поверхности, горно-капитальные и горно-подготовительные работы, вскрышные и добычные работы, подготовку пород к выемке (бурение, зарядание, взрывание), выемочно-погрузочные работы, перемещение горной породы (транспорт пустых вскрышных пород и полезного ископаемого), и отвалообразование. В процессе подготовки очередного горизонта создают зоны интенсивного тепломассопереноса в горных породах в виде блоков активного климатического воздействия (блоки АКВ) путем прохождения выработок, служащих для создания дополнительной обнаженной поверхности блока АКВ.

Параметры блоков, время их формирования и отработки определяют с учетом температурно-климатических характеристик района работ, теплофизических свойств горных пород, характеристик горно-добычного оборудования во взаимосвязи со степенью разупрочнения массива пород в блоке.

Такое конструирование рабочей зоны карьера создает возможность управления термомеханическим состоянием массива мерзлых пород путем оптимизации параметров блоков АКВ и является новым с точки зрения проектирования открытых разработок на месторождения криолитозоны.

Предлагаемая технология ведения горных работ обладает следующими преимуществами:

- управляемость состоянием массива пород в блоке достаточно высока за счет дополнительной свободной поверхности и возможности применения для его оттайки и разупрочнения различных способов и средств в наиболее благоприятных условиях;

- интенсифицируется тепломассоперенос в массиве горных пород блока;

- снижается себестоимость разработки месторождения;

- уменьшаются вредные выбросы в атмосферу.

Предложенное техническое решение имеет особую актуальность для районов Крайнего Севера и Арктики где воздействие горных разработок на окружающую среду очень значительно [14]. И в этом случае разработка месторождений с применением блоков АКВ по породам, требующим буровзрывного рыхления, сокращает объем

взрывных работ и, соответственно, вредные выбросы, а в отличие от технологии разработки с послойным снятием грунта предполагает работу горной техники на полигоне не в течение всего сезона а лишь в период времени, затрачиваемого на проходку выработок служащих для создания дополнительной обнаженной поверхности блоков активного климатического воздействия и уборки блоков АКВ.

Для обоснования эффективности применения технологии ведения горных работ с использованием блоков АКВ необходимо решение следующих важных задач:

1. Анализ горнотехнических и климатических условий характеристик россыпных месторождений.

2. Установление закономерностей распределения температуры в массиве горных пород применительно к конкретным месторождениям.

3. Разработка математической модели прогноза температурного поля в блоке АКВ сформированном в различные периоды года.

4. Разработка математической модели прогноза динамики температурного поля в блоке АКВ в процессе ведения горных работ для различных температурно-климатических периодов.

5. Разработка новых эффективных технологических решений эксплуатации месторождений с использованием подготовки пород к выемке блоками активного климатического воздействия.

6. Выбор выемочно-погрузочного оборудования для открытой разработки россыпных месторождений с использованием блоков активного климатического воздействия.

7. Разработка методики исследования параметров технологии открытой разработки месторождений с использованием подготовки пород к выемке блоками активного климатического воздействия.

8. Установление зависимостей влияния параметров блоков АКВ, применяемых технологий разработки, геологических и горнотехнических условий эксплуатации, на эффективность разработки месторождений.

9. Разработка и обоснование принципов управления термомеханическим состоянием массива пород в контуре карьера блоками активного климатического воздействия.

10. Разработка методики расчета экономической эффективности технологий открытой разработки россыпных месторождений с использованием блоков АКВ.

11. Обоснование критериев принятия решений по открытой разработке месторождений зоны многолетней мерзлоты с использованием блоков активного климатического воздействия.

Решение вышеизложенных задач позволит обосновать условия применения и параметры эксплуатации месторождений с управлением термомеханическим состоянием массива мерзлых пород блоками АКВ на карьерах Севера.

Список литературы

1. Таскаев А.И. Экологическое обоснование рационального природопользования на европейском Севере / А.И. Таскаев, И.Б. Арчегова // Арктика: Экология и экономика. – 2011. – № 2. – С. 42–47.
2. Общее мерзлотоведение (геокриология): учебник – 2-е изд., перераб. и доп.; под ред. В.А. Кудрявцева – М.: Изд-во МГУ, 1978. – 464 с.
3. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Машиностроение, 1968. – 375 с.
4. Моделирование тепловых процессов в горном массиве при открытой разработке россыпей криолитозоны: коллектив. моногр. / А.С. Курилко С.А. Ермаков, Ю.А. Хохолов, М.В. Каймонов, А.М. Бураков; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т горн. дела Севера им. Н.В. Черского. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2011. – 139 с.
5. Пат. РФ № 2380488, МПК E 02 F 5/30, F 42 D 99/00. Способ гидравлического оттаивания мерзлых пород / Субботин Ю.В., Овешников Ю.М., Корешков С.В., заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Читинский гос. ун-т (ЧитГУ) – № 2008143861/03; заявл. 05.11.2008; опубл. 27.01.2010. Бюл. № 3.
6. Пат. РФ № 2100606, МПК E 21 C 41/26(1995.01). Способ подготовки мерзлых пород к выемке / Морин А.С., Буткин В.Д., Миронова Ж.В., Егупов А.А., заявитель и патентообладатель Красноярский институт цветных металлов. – № 94016791/03, заявл. 05.05.1994, опубл. 27.12.1997.
7. Дополнительно к авторскому свидетельству 883278, Кл. E 02 F 5/30. Способ подготовки мерзлых россыпных месторождений к промывке / В.Е. Кисляков, Т.С. Потапов (СССР); заявл. 07.07.1980; опубл. 23.11.1981 // Открытия, изобретения. – 1991 Бюл. № 43.
8. Сулин Г.А. Техника и технология разработки россыпей открытым способом / Г.А. Сулин. – М.: Недра, 1974. – 232 с.
9. Потемкин С.В. Оттайка мерзлых пород: учеб. пособие / С.В. Потемкин. – М.: Недра, 1991. – 160 с.
10. Емельянов В.И. Технология бульдозерной отработки вечномерзлых россыпей / В.И. Емельянов. – М.: Недра, 1976. – 287 с.
11. Арсентьев А.И. Вскрытие и системы разработки карьерных полей: учебник. – М.: Недра, 1981. – 278 с.
12. Панишев С.В. Влияние температурного режима на эффективность разработки вскрышных пород месторождений криолитозоны / С.В. Панишев, С.А. Ермаков // Физ.-техн. пробл. разраб. полез. ископаемых. – 2013. – № 2. – С. 132–138.
13. Пат. РФ № 2575283, МПК E 21 C 41/26. Способ открытой разработки месторождений криолитозоны / Пани-

шев С.В.; заявитель и патентообладатель Ин-т горн. дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН. – № 2014149521/03; заявл. 08.12.2014; опубл. 20.02.2016. Бюл. № 5.

14. Мельников Н.Н. Создание многоуровневой системы геодинамического мониторинга горнотехнических и нефтегазовых объектов западной части российского сектора Арктики / Н.Н. Мельников, А.И. Калашник // Арктика. Экология и экономика. – 2015. – № 3 (19). – С. 66–75.

References

1. Taskaev A.I. Jekologicheskoe obosnovanie racionalnogo prirodopolzovaniya na ev-ropejskom Severe / A.I. Taskaev, I.B. Archegova // Arktika: Jekologija i jekonomika. 2011. no. 2. pp. 42–47.
2. Obshhee merzlotovedenie (geokriologija): uchebnik 2-e izd., pererab. i dop.; pod red. V.A. Kudrjavceva M.: Izd-vo MGU, 1978. 464 p.
3. Zelenin A.N. Osnovy razrusheniya gruntov mehanicheskimi sposobami. 2-e izd., pere-rab. i dop. M.: Izd-vo Mashinostroenie, 1968. 375 p.
4. Modelirovanie teplovyh processov v gornom massive pri otkrytoj razrabotke ros-sypej kriolitozony: kolektiv. monogr. / A.S. Kurilko S.A. Ermakov, Ju.A. Hoholov, M.V. Kajmonov, A.M. Burakov; Ros. akad. nauk, Sib. otd-nie, In-t gorn. dela Severa im. N.V. Cherskogo. Novosibirsk: Akademicheskoe izd-vo «Geo», 2011. 139 p.
5. Pat. RF no. 2380488, MPK E 02 F 5/30, F 42 D 99/00. Sposob gidravlicheskogo ottaiva-niya merzlyh porod / Subbotin Ju.V., Oveshnikov Ju.M., Koreshkov S.V., zayavitel i patentoobladatel GOU VPO Chitinskij gos. un-t (ChitGU) no. 2008143861/03; zayavl. 05.11.2008; opubl. 27.01.2010. Bjul. no. 3.
6. Pat. RF no. 2100606, MPK E 21 S 41/26(1995.01). Sposob podgotovki merzlyh porod k vyemke / Morin A.S., Butkin V.D., Mironova Zh.V., Egupov A.A., zayavitel i patentoobladatel Krasnojarskij institut cvetnyh metallov. no. 94016791/03, zayavl. 05.05.1994, opubl. 27.12.1997.
7. Dopolnitelno k avtorskomu svidetelstvu 883278, Kl. E 02 F 5/30. Sposob podgo-tovki merzlyh rossypnyh mestorozhdenij k promyvke / V.E. Kisljakov, T.S. Potapov (SSSR); zayavl. 07.07.1980; opubl. 23.11.1981 // Otkrytija, izobretenija. 1991 Bjul. no. 43.
8. Sulin G.A. Tehnika i tehnologija razrabotki rossypej otkryтым способом / G.A. Sulin. M.: Nedra, 1974. 232 p.
9. Potemkin S.V. Ottajka merzlyh porod: ucheb. posobie / S.V. Potemkin. M.: Nedra, 1991. 160 s.
10. Emeljanov V.I. Tehnologija buldozernoј otrobotki vech-nomerzlyh rossypej / V.I. Emeljanov. M.: Nedra, 1976. 287 p.
11. Arsentev A.I. Vskrytie i sistemy razrabotki karernyh polej: uchebnik. M.: Nedra, 1981. 278 p.
12. Panishev S.V. Vlijanie temperaturnogo rezhima na jef-ektivnost razrabotki vskryshnyh porod mestorozhdenij kriolitozony / S.V. Panishev, S.A. Ermakov // Fiz.-tehn. probl. razrab. polez. iskopaemyh. 2013. no. 2. pp. 132–138.
13. Pat. RF no. 2575283, MPK E 21 S 41/26. Sposob otkrytoj razrabotki mestorozhdenij kriolitozony / Panishev S.V.; zayavitel i patentoobladatel In-t gorn.dela Severa im. N.V. Cherskogo SO RAN. no. 2014149521/03; zayavl. 08.12.2014; opubl. 20.02.2016. Bjul. no. 5.
14. Melnikov N.N. Sozdanie mnogourovnevoj sistemy geodinamicheskogo monitoringa gornotekhnicheskikh i neftegazovyh obektov zapadnoj chasti rossijskogo sektora Arktiki / N.N. Melnikov, A.I. Kalashnik // Arktika. Jekologija i jekonomika. 2015. no. 3 (19). pp. 66–75.