

3. *Мякишев А.И., Кислый А.И.* Отчет Эльконской партии о результатах геологического доизучения масштаба 1:50 000, проведенного в 1994–1999 гг. на территории Эльконского горста. Листы О–51–48-Г, О–52–37-В, О–51–60-А,Б, О–52–49-Г.» ГП «Алдангеология», 1999.

4. *Кравченко А.А., Смелов А.П., Березкин В.И., Попов Н.В.* Геология и генезис докембрийских золотоносных метабазитов центральной части Алдано-Станового щита (на примере месторождения им. П. Пинигина). – Якутск: ИГАБМ СО РАН, 2010.

5. *Балашов Ю.А.* Геохимия редкоземельных элементов. – М.: Наука, 1976.

6. *Горошко М.В., Малышев Ю.Ф., Кириллов В.Е.* Металлогения урана Дальнего Востока России. – М.: Наука, 2006.

7. *Титов В.К., Давыдова Л.И.* О распределении урана в минералах щелочных пород алданского вулканогенно-интрузивного комплекса // Материалы о содержании и распределении радиоактивных элементов в горных породах. – Л., 1972. – С.87–97.

8. *Мизута А.К.* Урановые месторождения Эльконского рудного района на Алданском щите // Геология рудных месторождений. – 2001. – № 2. – С. 73–79.

9. *Жижин В.И., Бирюлькин Г.В., Никитин В.М.* Докембрийские ультрабазит-базитовые формации Алданского щита. – М.: Недра, 2000. – 96 с.

Поступила в редакцию 25.11.2014

УДК 622.45: 536.244

Прогноз теплового режима проектируемой россыпной шахты «Солур»

А.С. Курилко, Ю.А. Хохолов, Д.Е. Соловьев, М.В. Тишков

Круглогодичная подземная разработка россыпных месторождений в районах распространения многолетнемерзлых пород имеет ряд специфических особенностей, связанных, прежде всего, с необходимостью обеспечения устойчивости горных выработок в теплое время года и нормализации параметров шахтной атмосферы в зимний период. Для условий проектируемой россыпной шахты «Солур» были проведены прогнозные расчеты (методом математического моделирования) температурного режима в воздухоподающих и очистных выработках, а также вмещающем их массиве горных пород. Определены оптимальные сроки консервации шахты на летний период. Показана роль тепловыделений от самоходного горного оборудования на формирование температурного режима в очистных выработках и окружающем массиве горных пород.

Ключевые слова: криолитозона, россыпная шахта, многолетнемерзлые породы, температурный режим.

Perennial underground mining of placer deposits in the regions of permafrost distribution has a number of specific features, which primarily are related to necessity of providing workings stability in the warm season and mine atmosphere parameters normalization in winter. Prognosis estimation of air delivery permanent workings and stopes temperature condition, as well as rock mass holding it, were held (by means of mathematic modeling method) for projected placer mine "Solur" conditions. Optimal terms for mine conservation in summer are determined. Self-propelling mining equipment heat release value for forming temperature in working stopes and surrounding rock mass is shown.

Key words: cryolithic zone, placer mine, permafrost rocks, temperature regime.

Введение

Как известно, состояние и уровень социально-экономического развития РФ (в том числе в

КУРИЛКО Александр Сардокович – д.т.н., зав. лаб. Института горного дела Севера СО РАН, a.s.kurilko@igds.ysn.ru; ХОХОЛОВ Юрий Аркадьевич – д.т.н., в.н.с. Института горного дела Севера СО РАН, khokholov@igds.ysn.ru; СОЛОВЬЕВ Дмитрий Егорович – к.т.н., с.н.с. Института горного дела Севера СО РАН, solovjevde@igds.ysn.ru; ТИШКОВ Максим Вячеславович – к.т.н., зав. лаб. института «Якутнипроалмаз», TishkovMV@alrosa.ru.

Республике Саха (Якутия)) во многом определяются масштабами и эффективностью освоения ее природных и, прежде всего, минеральных ресурсов, включая золото- и алмазосодержащие месторождения, находящиеся в северных регионах страны.

В настоящее время определенный интерес АК «АЛРОСА» проявляет к освоению глубоко погребенных россыпных месторождений, разработку которых предполагается вести подземным способом, в частности, Солур–Восточная, которое наряду с значительными запасами характеризуется рядом специфических особенностей, во многом осложняющих его подземную отработку.

К ним могут быть отнесены: значительная глубина залегания; крайняя невыдержанность по мощности торфов и продуктивного пласта; наличие «вялой» мерзлоты, значительного количества ледяных шлиров; крупнообломочного галечного материала в продуктивном пласте; неровности плотика; недостаточная изученность физико-механических и теплофизических свойств рыхлых отложений. К факторам, затрудняющим отработку, может быть отнесено так же отсутствие аналога и достаточного опыта освоения и разработки таких месторождений.

Все вышеперечисленные факторы в значительной степени тормозят освоение этого месторождения, рентабельная отработка которого связана с необходимостью строительства крупных, высокомеханизированных, рассчитанных на длительный срок эксплуатации россыпных шахт (РШ) и требует разработки специальных требований, руководств, регламентов технологии отработки, управления горным давлением, а так же регулирования теплового и вентиляционного режимов.

Месторождение алмазов Солур–Восточная представляет собой древнюю глубокопогребённую россыпь, состоящую из двух пространственно сближенных, но несколько разобшённых залежей – среднекарбоновой «Восточная» и среднеюрской «Солур», которые характеризуются сложным геологическим строением и составом пород торфов, продуктивного пласта и плотика. Наличие «вялой» мерзлоты (температура пород на глубине 20 м $-1,0^{\circ}\text{C}$) и большого количества линз льда в дисперсных породах предопределяет их высокую склонность к разупрочнению при повышении температуры. Влажность (льדיстость) поверхностного слоя пород – 12–42%, с углублением к плотику снижается до 2–6% (наличие шлиров льда). Мощность мерзлоты (сплошной) – 330 м.

Основные горно-технические параметры подземной разработки алмазосодержащей россыпи «Солур»:

- длина россыпи – 1900 м;
- ширина россыпи – 780–925 м;
- средняя мощность торфов – 22 м, максимальная – до 50 м;
- мощность продуктивного пласта – от 0,3 м до 5,8 м, средняя – 2,8 м;
- гранулометрический состав рыхлых отложений: глинисто-алевролитовая фракция – 35–80%; песчаная – 10–60%; галечник – 10–20%;
- породы плотика – сильнотрещиноватые доломиты, песчаники, алевролиты, мергель.

Анализ вышеприведенных горно-техниче-

ских условий позволяет предполагать, основываясь на данных литературных источников и опыта работы РШ Заполярья [1–3], что разработка месторождения может быть осложнена не только наличием «вялой» мерзлоты, но и ледяных шлиров, что нарушает сплошность кровли и в значительной степени отрицательно влияет на ее устойчивость при проходке горных выработок, в особенности в летний период, как это имело место при разработке россыпных месторождений Кулара РС(Я).

Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом проблем комплексного освоения недр РАН в 2013 г. был разработан технологический регламент подземной разработки алмазоносной залежи «Солур» в соответствии с которым предложена столбовая система разработки с обрушением пород кровли без оставления целиков с применением на проходческих и очистных работах комплексов дизельного самоходного горного оборудования (СГО) [3].

Вскрытие месторождения предполагается осуществлять по центральной схеме двумя центрально расположенными наклонными стволами ГНС и ВНС, которые находятся вне зон сдвижения горных пород с двух сторон россыпи вкрест простирания (рис. 1). Стволы сбиваются между собой центральным штреком, подготовка производится по пласту с пограничными продольными штреками. Залежь разбивается на 5 выемочных столбов длиной 620–950 м по простиранию и шириной 170–250 м вкрест простирания.

Подготовка каждого столба заключается в проведении с помощью буровзрывных работ с одной стороны вентиляционно-конвейерного штрека, а с другой – вентиляционно-доставочного и вентиляционно-конвейерного штреков, разделённых целиком, в котором через каждые 50 м проходятся сбойки сечением, равным сечению штреков.

По противоположному от ЦШ контуру россыпи штреки сбиваются рассечкой, из которой и начинаются очистные работы. Выдача песков на поверхность осуществляется посредством ленточных конвейеров.

Данная схема позволяет вести отбойку песков секциями с двух сторон столба и, соответственно, использовать одновременно две погрузочно-доставочные машины (ПДМ).

Использование СГО с дизельным приводом позволяет увеличить производительность труда и снизить себестоимость добычи песков, но в то же время резко увеличивается загрязненность шахтного воздуха выхлопными газами. В данном случае требуется усиленная вентиляция РШ, функционирующая в постоянном усиленном режиме

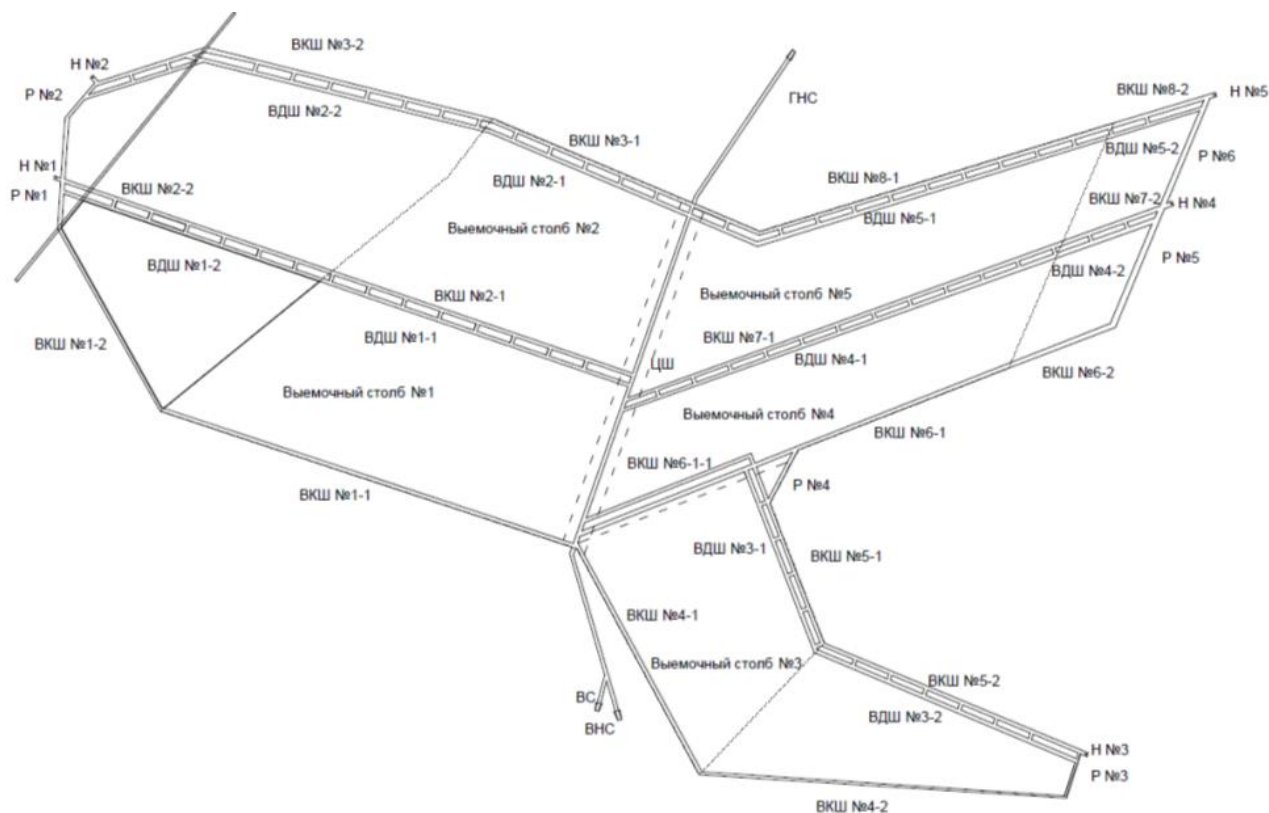


Рис. 1. Схема вскрытия и подготовки шахтного поля россыпи «Солур»: ВКШ – вентиляционно-конвейерный штрек; ВДШ – вентиляционно-доставочный штрек; Н – ниша под вентиляционную скважину; ЦШ – центральный штрек; ГНС – главный наклонный ствол; ВНС – вспомогательный наклонный ствол

вне зависимости от времени суток и года. В соответствии с регламентом [3] число ПДМ ST7, работающих одновременно в проходческих и очистных забоях, будет составлять соответственно 3 и 2 машины. Общее требуемое количество воздуха для проветривания шахты «Солур» при ведении добычных работ составит $90,17 \text{ м}^3/\text{с}$. При проходке горных выработок необходимое количество воздуха составит $16,32 \text{ м}^3/\text{с}$.

Как уже отмечалось ранее, россыпное месторождение алмазов Солур находится в зоне распространения многолетнемерзлых горных пород и как для большинства россыпных шахт Севера факторами, определяющими тепловой режим, являются сезонные изменения температуры и влажности атмосферного воздуха, естественная температура пород, скорость и дебит воздушного потока, длина вентиляционного пути [4]. В конечном счете температурный режим является определяющим в плане обеспечения безопасных и комфортных условий труда горнорабочих.

Учитывая исключительную важность этого вопроса для условий проектируемой РШ «Солур» были проведены прогнозные расчеты (методом математического моделирования) фор-

мируемого температурного режима в воздухоподающих и очистных выработках, а также вмещающем их массиве горных пород.

Проветривание РШ «Солур» предусмотрено нагнетательным способом по прямоточной комбинированной схеме: в качестве воздухоподающего ствола используется ВНС, через который осуществляется подача свежего воздуха в шахту в объеме $90,2 \text{ м}^3/\text{с}$, а в качестве воздухоотводящих – ГНС и фланговая вентиляционная скважина [3]. Ниже приведены результаты расчетов температурного режима для ВНС с учетом круглогодичной и сезонной эксплуатации шахты.

Исходные данные для расчетов следующие: длина ВНС 240 м, сечение в свету $12,83 \text{ м}^2$, естественная температура вмещающего массива горных пород -1°C , влажность пород 10%. Температура атмосферного воздуха принималась по результатам стационарных метеорологических наблюдений метеостанции «Мирный» [5]. Расчеты проведены на период эксплуатации в течение 3 лет, месяц начала счета – январь.

На рис. 2 показаны расчетные значения размеров ореолов протаивания горных пород вокруг ВНС в устьевой части выработки при круглогодичной эксплуатации шахты с естественным тепловым режимом. Как видно из графиков, разме-

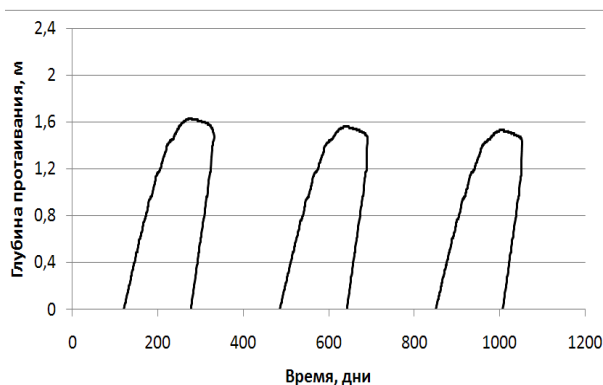


Рис. 2. Динамика изменений размеров ореолов протаивания горных пород в устьевой части ВНС в течение трех лет эксплуатации

ры ореолов протаивания по истечении года могут достигать 1,6 м, а в последующие годы будет происходить некоторое снижение темпа оттайки за счет аккумуляирования холода окружающим породным массивом в зимний период эксплуатации. Начало оттайки пород в первый год эксплуатации приходится на 1–2 мая.

Необходимо отметить, что глубина протаивания массива вмещающих горных пород в значительной степени зависит от их влажности (льдистости), поскольку с ее увеличением требуется больший расход тепла на фазовые переходы влаги, вследствие чего ореолы протаивания будут меньших размеров.

На рис. 3 показана динамика изменения температуры воздуха, а также горных пород на стенке выработки и по глубине массива в устьевой части ВНС.

Как видно из графиков, в зимний период происходит интенсивное промораживание устьевой части выработки, так температура

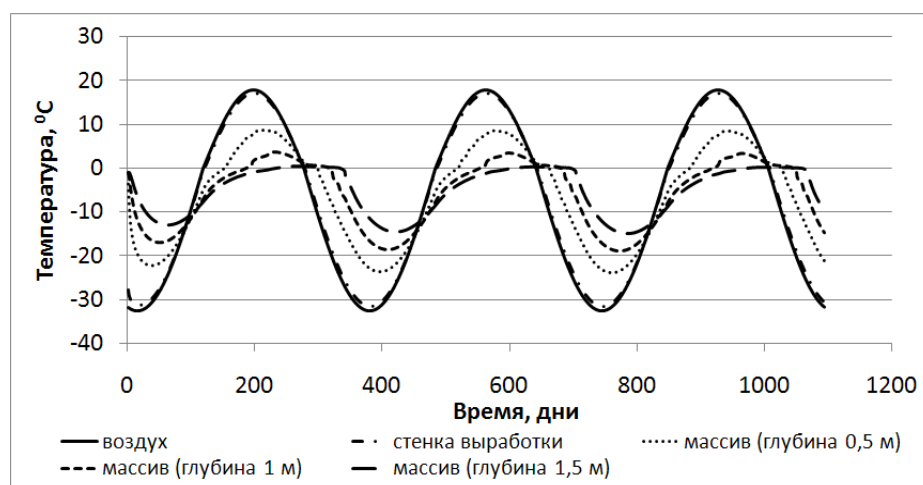


Рис. 3. Динамика изменения температуры воздуха, горных пород стенки выработки и по глубине массива (0,5, 1 и 1,5 м) в устьевой части ВНС при круглогодичной эксплуатации шахты

пород на глубине 0,5 м понижается до -22°C , а на глубине 1,5 м до -13°C . В летний период ситуация противоположная – за счет поступления атмосферного тепла массив горных пород протаивает, на глубине 0,5 м максимальная температура пород составляет $8-9^{\circ}\text{C}$, на глубине 1,5 м $0-0,5^{\circ}\text{C}$, что согласуется с данными, приведенными на рис. 2 и 3, где глубина протаивания так же находится в пределах 1,6 м.

Таким образом, сезонные колебания температуры наружного воздуха, вызывающие знакопеременный характер процессов тепло- и массообмена воздуха с породным массивом, оказывают значительное влияние на тепловой режим устьевых участков вентиляционных выработок. В зимний период шахтный воздух будет иметь низкую температуру, что создаст дискомфортные условия труда для горнорабочих. Летом оттаивание мерзлых пород, окружающих воздухоподающие выработки, будет сопровождаться снижением их устойчивости, и не исключено завалами выработок [6].

Согласно пункту 185 Единых правил безопасности, при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом запрещается разработка многолетнемерзлых россыпей лавами при температуре песков и пород кровли (на глубине 0,5 м от плоскости обнажения) от -1°C и выше [7]. В этих случаях подготовительные выработки должны крепиться сплошной крепью без отставания крепи от забоя. Подаваемый вентиляционный воздух не должен вызывать растепление воздухоподающих горных выработок, что трудно выполнимо без его искусственного охлаждения.

Этим и объясняется сезонность работ в РШ криолитозоны (в основном в зимний период).

Таким образом, основным требованием при регулировании теплового режима (РТР) РШ является недопущение оттаивания окружающих дисперсных горных пород, поэтому очистная выемка должна производиться только в холодное время года.

Применение различных способов РТР (теплоаккумулирующие выработки, комбинированные схемы проветривания, камеры теплообменники и др.) с целью обеспечения круглогодичной эксплуатации шахты при использовании

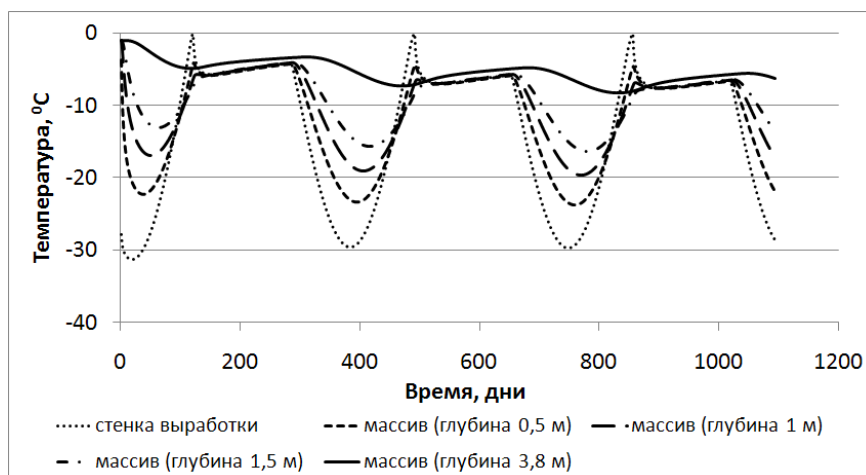


Рис. 4. Динамика изменения температуры горных пород стенки выработки и по глубине массива (0,5, 1 и 1,5 м) в устьевой части ВНС при консервации шахты на летний период

дизельного оборудования и относительно больших расходах воздуха либо исключено, либо экономически затратно. Стоит отметить, что в технологическом регламенте подземной разработки алмазонасной залежи «Солур» предполагается консервация горных работ на летний период [3].

На рис. 4 показана динамика изменений температуры горных пород стенки выработки в устьевой части ВНС с учетом консервации шахты в летний период. При таком режиме эксплуатации происходит снижение температур окружающих горных пород, что является следствием подачи в шахту только холодного воздуха. Приостановка деятельности вентиляции на летний период позволяет понизить температуру пород в устьевой части ВНС до -7°C способствуя повышению устойчивости выработки.

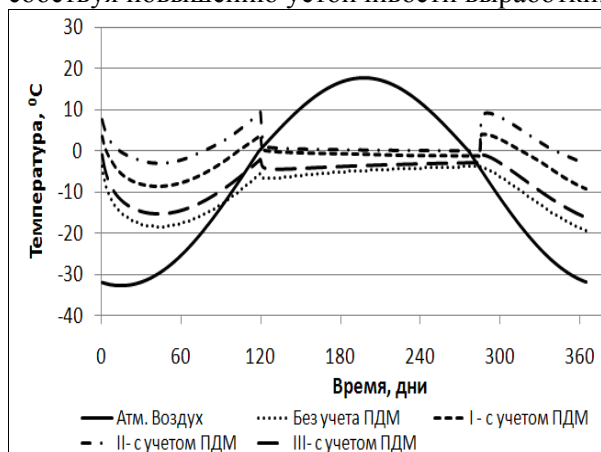


Рис. 5. Динамика температур наружного воздуха и температур воздуха в очистном забое: I – с учетом ПДМ, работает одна ПДМ ST7, тепловыделение 355 кВт; II – с учетом ПДМ, работают две ПДМ ST7, суммарные тепловыделения 671 кВт; III – с учетом ПДМ, работают две ПДМ ST7 с коэф. загрузки 0,7, суммарные тепловыделения 141 кВт

Периоды консервации шахты на летний сезон

I год	II год	III год
1 мая– 13 октября	6 мая– 15 октября	6 мая– 17 октября

В таблице приведены расчетные периоды консервации шахты на летний сезон в течение трех лет эксплуатации, из которой можно сделать вывод, что этот период начинается с начала мая и продолжается до середины октября.

На рис. 5 приведена динамика изменений температуры наружного воздуха, а также

температуры шахтного воздуха в очистном забое с учетом и без учета тепловыделений от СГО.

Из рисунка видно, что без учета тепловыделений от работающих машин температура воздуха в очистном забое в наиболее холодный период понижается до -19°C .

При работе СГО в забое происходит локальный подогрев воздуха за счет выделения тепла от работы дизелей и электродвигателей, которые определяются по известной полезной мощности машины и коэффициенту полезного действия механизмов. При работе одной ПДМ ST7 (вариант I) тепловыделения составят 355 кВт и температура воздуха в очистном забое в наиболее холодный период не опустится ниже $-10,1^{\circ}\text{C}$. При работе двух ПДМ ST7 (вариант II, суммарные тепловыделения 671 кВт) минимальные значения температуры воздуха составят $-5,2^{\circ}\text{C}$.

Если провести подсчет тепловыделений ПДМ с учетом коэффициента загрузки машин (в данном случае 0,7) и расхода топлива (средний расход топлива ПДМ ST7 – 10 л/ч) [8], то при работе двух ПДМ ST7 суммарные тепловыделения будут равны 141 кВт (вариант III), а минимальные значения температуры воздуха составят $-17,4^{\circ}\text{C}$.

В комплексе мероприятий, направленных на улучшение гигиенических условий труда подземных горнорабочих, главная роль принадлежит техническому аспекту – регулированию теплового режима, в основе которого лежит создание в зимний период в выработках умеренных отрицательных температур, близких к естественным температурам окружающих горных пород [4]. При этом предельно допустимая минимальная температура рудничного воздуха определяется по следующим формулам [9]:

– в забоях тупиковых выработок и очистных камерах: $t_{np} \approx 2 \cdot v - 8^{\circ}\text{C}$;

– в остальных подземных выработках: $t_{np} \approx 2 \cdot v - 15^\circ\text{C}$.

Средняя скорость воздуха в лаве (из расчета требуемого режима проветривания при работе двух ПДМ ST7) составляет 0,7 м/с, при этом минимально допустимая температура в лаве будет равна $-6,6^\circ\text{C}$. Полученные расчетные значения (рис. 5) превышают этот показатель в 2–3 раза, тем самым устанавливаются довольно жесткие внутришахтные климатические условия. Исключение составляет вариант при работе в забое двух ПДМ ST7, тепловыделения от которых позволяют обеспечить приемлемые температурные условия для горнорабочих.

Согласно Единым правилам безопасности, в шахтах, где параметры воздуха по температурному фактору ниже допустимых норм, должны применяться меры по предупреждению переохлаждения организма горнорабочих, например, подогрев воздуха с помощью калориферов.

Заключение

Как показали проведенные прогнозные расчеты, в зимний период работы РШ «Солур» происходит прогрессирующее охлаждение и аккумуляция холода окружающими горными породами. Тем самым обеспечиваются устойчивость горных выработок и безопасные условия труда горнорабочим. При этом низкие температуры воздуха в очистных забоях могут послужить причиной роста простудных заболеваний рабочих и соответственно снижения производственных показателей РШ. В данном случае потребуется разработка соответствующих мероприятий по регулированию теплового режима в шахте для создания комфортных условий труда горнорабочим. В летний период (при круглогодичной эксплуатации) за счет поступления атмосферного тепла в шахту бу-

дет происходить интенсивная оттайка вмещающего выработки массива горных пород, что однозначно скажется на снижении устойчивости выработок и потребует увеличения затрат на их крепление. Таким образом, с этих позиций сезонная работа РШ предпочтительна.

Литература и источники

1. *Шерстов В.А.* Подземная разработка россыпных месторождений в условиях многолетней мерзлоты. – М.: ВИНТИ, 1994. – 90 с.
2. *Шерстов В.А., Скуба В.Н., Лубий К.И. и др.* Подземная разработка россыпных месторождений Якутии. – Якутск: Кн. изд-во, 1981. – 180 с.
3. *Отчет «Технологический регламент на подземную отработку месторождения «Солур».* – М.: ИПКОН РАН, 2013.
4. *Шерстов В.А.* Подземная разработка многолетнемерзлых россыпных месторождений: учебно-методическое пособие. – Якутск: Якутский госуниверситет, ИГДС СО РАН, 2002. – 124 с.
5. *Фельдман Г.М.* Пособие по прогнозу температурного режима грунтов Якутии / Отв. ред. П.И. Мельников. – Якутск: ИМЗ СО АН СССР, 1988. – 240 с.
6. *Емельянов В.И., Мамаев Ю.А., Кудлай Е.Д.* Подземная разработка многолетнемерзлых россыпей / Под ред. канд. техн. наук В.И. Емельянова. – М.: Недра, 1982. – 240 с.
7. *Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом (ПБ 03–553–03).* Постановление Госгортехнадзора России от 13.05.03 № 30 (зарегистрировано Минюстом России 28.05.03 г., рег. № 4600).
8. *Дядькин Ю.Д., Шувалов Ю.В.* Тепловые съемки и тепловой расчет шахт и рудников: учебное пособие. – Л.: Изд-во ЛГИ, 1977. – 87 с.
9. *Дядькин Ю.Д.* Основы горной теплофизики для шахт и рудников Севера. – М.: Недра, 1968. – 255 с.

Поступила в редакцию 20.11.2014

УДК 551.49:551.345

Химический состав подземных вод зоны активного водообмена Чульманского адартезианского бассейна

Ф.Р. Завадский, М.Н. Железняк, А.Ф. Жирков

Представлен анализ многолетней и сезонной динамики химического состава подземных вод юрского водоносного комплекса Чульманского адартезианского бассейна (Южная Якутия) на примере месторождения подземных вод Еловое за период 2002–2010 гг. Выявлены основные закономерности изменения химического состава подземных вод и оценена степень влияния динамики разгрузки подзем-

ЗАВАДСКИЙ Феликс Романович – к.г.-м.н., н.с. Института мерзлотоведения СО РАН, zavadski07@rambler.ru;
ЖЕЛЕЗНЯК Михаил Николаевич – д.г.-м.н., директор Института мерзлотоведения СО РАН, fe@mpi.ysn.ru;
ЖИРКОВ Александр Федотович – аспирант Института мерзлотоведения СО РАН, zhirkov_af@mail.ru.