

УДК 622.45:536.244

**ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ГОРНОГО МАССИВА
В ЗАБОЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ПРОВЕТРИВАНИЯ
РОССЫПНОЙ ШАХТЫ «СОЛУР»**

¹Курилко А.С., ¹Хохолов Ю.А., ¹Соловьев Д.Е., ²Петров Е.Е., ²Мордовской С.Д.

¹ФГБУН «Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского» Сибирского отделения

Российской академии наук, Якутск, e-mail: solovjevde@igds.ysn.ru;

²ФГАУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Якутск

Рассмотрены особенности ведения горных работ в россыпных шахтах криолитозоны. Основным требованием при вентиляции шахты является недопущение подачи атмосферного воздуха с положительной температурой, чтобы предотвратить оттаивание окружающих дисперсных горных пород. Для прогноза температуры воздуха и горного массива вокруг выработок был использован разработанный в лаборатории горной теплофизики программный комплекс для расчета воздухораспределения и теплового режима сети горных выработок криолитозоны. Результаты проведенных расчетов подтверждают, что при отработке алмазонасыщенных россыпей в зимний период с временной консервацией россыпной шахты на летний период будет происходить устойчивое понижение температуры окружающих горных пород с повышением их прочности, поскольку в шахту подается только холодный воздух. С другой стороны, снижение температуры окружающих пород приводит к их упрочнению, что может усложнить посадку и обрушение кровли при ведении очистных работ. Установлено, что в призабойных участках шахты «Солур» в самый холодный период при расходе воздуха 16,3 м³/с (скорость воздуха 0,36 м/с) температура воздуха в забое снижается до -17,2°C, при расходе воздуха 32,6 м³/с (скорость воздуха 0,72 м/с) – до -22,9°C, что ниже допустимых санитарных норм. При подаче воздуха в россыпную шахту с расходом 90,17 м³/с в очистном забое температура воздуха снижается до -27°C при скорости 2 м/с.

Ключевые слова: криолитозона, россыпная шахта, моделирование, проветривание, расход воздуха, температура, горные породы

**AIR AND ROCK MASS TEMPERATURE PROGNOSIS IN FACE UNDER PLACER
MINE «SOLUR» VARIOUS VENTILATION CONDITIONS**

¹Kurilko A.S., ¹Khokholov Y.A., ¹Solovjev D.E., ²Petrov E.E., ²Mordovskoy S.D.

¹Federal State Academic Institution «Chersky Mining Institute of the North» Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: solovjevde@igds.ysn.ru;

²North-Eastern Federal University, Yakutsk

The features of mining in cryolitezone placer mines are considered. The main requirement for mine ventilation is non-admission of positive temperature ambient air delivery to prevent surrounding rocks thawing. For air and rock mass temperature prognosis around the workings bundled software for air distribution and thermal conditions calculation of cryolitezone mine workings system, developed by mining thermal physics laboratory, was applied. The performed calculations results confirm that on mining of diamondiferous placers in winter with placer mine temporary closing down in summer, steady surrounding rocks temperature decrease will take place while their strength increase, because in mine cold air delivered only. On the other hand surrounding rocks temperature reducing leads to their hardening, that may complicate caving and roof fall while cleanup works carrying out. It is determined, that in face near areas of «Solur» mine in the coldest period at airflow 16,3 m³/s (air velocity 0,36 m/s) stope air temperature reduces to -17,2°C, at airflow 32,6 m³/s (air velocity 0,72 m/s) – to -22,9°C, which is below permissible sanitary code. At air supply in placer mine with airflow 90,17 m³/s air temperature in breakage face reduces to -27°C at velocity 2 m/s.

Keywords: cryolithic zone, placer mine, modeling, ventilation, air flow, temperature, rocks

Россыпное месторождение алмазов «Солур» находится в зоне распространения многолетнемерзлых горных пород, поэтому температурный режим в шахте является определяющим в плане обеспечения безопасных условий труда горнорабочих и имеет первостепенное значение [1]. Известно, что влагонасыщенные дисперсные горные породы в мерзлом состоянии, цементированные льдом, могут выдерживать значительные нагрузки, а при положительных температурах их прочность резко падает, что негативно сказывается на устойчивости

выработок и безопасности горных работ. Этим и объясняется сезонность работ в россыпных шахтах криолитозоны (в основном в зимний период). К основным требованиям при вентиляции шахты относится требование недопущения подачи атмосферного воздуха с положительной температурой, чтобы предотвратить оттаивание окружающих дисперсных горных пород. Поэтому очистная выемка должна производиться только в холодное время года [2].

Прогноз температурного режима сети выработок россыпной шахты складывается

из совокупности отдельных решений задач теплообмена в каждой выработке сети. В этой связи большое значение имеет разработка математической модели теплообмена вентиляционной струи с окружающим горным массивом для одиночной выработки.

Как известно из практики, безопасная эксплуатация горных выработок в массиве многолетнемерзлых горных пород связана с необходимостью анализа динамики температурного поля массива, определяющего его устойчивость. Данная задача решается созданием соответствующих математических моделей, описывающих процессы теплообмена в выработке и окружающих ее породах и последующей их реализацией на ЭВМ в виде программ или программных комплексов. Необходимо отметить, что разработка математических моделей тепловых процессов, происходящих в выработке, пройденной в многолетнемерзлых породах, требует учета большого количества факторов, таких как температура воздуха на входе в выработку, влажность вмещающих пород и их теплофизические свойства, наличие теплоизоляции, фазовые переходы влаги в породах, мощность местных источников тепла и т.д.

Для прогноза температуры воздуха и горного массива вокруг выработок был использован разработанный в лаборатории горной теплофизики программный комплекс для расчета воздухораспределения и теплового режима сети горных выработок криолитозоны [3, 4].

Расчет температурного режима сети выработок шахты начинается с воздухоподающих выработок. Температура воздуха на входе в выработку является уже известной величиной (т.е. входящие ветви в узел, с которого начинается выработка, уже прошли через процедуру расчета температуры воздуха). Согласно порядку проводится процедура расчета температуры воздуха в выработках сети. Температура воздуха на выходе из узла t_b рассчитывается с учетом расходов и температур воздуха всех входящих ветвей по следующей формуле:

$$t_b = \frac{\sum_{j \in F} q_j \cdot t_{kj}}{\sum_{j \in F} q_j}, \quad (1)$$

где q_j , t_{kj} – соответственно расход и температура воздуха на конце j -й выработки, $\text{м}^3/\text{с}$ и $^\circ\text{C}$; F – множество входящих ветвей в заданный узел сети.

В расчетах принято, что в шахту подается воздух с отрицательной температурой. Летом доступ атмосферного воздуха в шах-

ту отсутствует, теплообмен в выработках происходит в условиях свободной конвекции. Формула для расчета коэффициента теплообмена при свободной конвекции имеет вид [5]:

$$\alpha_{\text{ск}} = 1,66 \cdot \sqrt[3]{|t_b - t_{\text{ст}}|}. \quad (2)$$

Расчет температурного режима шахты «Солур»

В шахте «Солур» предусмотрена система разработки длинными столбами с полным обрушением пород кровли. На рис. 1 показана схема подготовки залежи «Солур» к разработке [1]. Проветривание горных работ при отработке запасов россыпи предусмотрено нагнетательным способом по прямоточной комбинированной схеме: в качестве воздухоподающего используется вентиляционный наклонный ствол (ВНС), а в качестве воздухоотводящих – главный наклонный ствол (ГНС) и фланговая вентиляционная скважина. Сделан расчет температурного режима в районе ведения добычных работ. Длина столба принята равной 800 м. Расчеты проведены для трех значений расхода воздуха: $16,3 \text{ м}^3/\text{с}$ (работает 1 погрузочно-доставочная машина ПДМ); $32,6 \text{ м}^3/\text{с}$ (работают 2 ПДМ) и $90,17 \text{ м}^3/\text{с}$ (работают 3 ПДМ – по регламенту [1]). При этом скорости воздуха в конце вентиляционно-доставочного штрека (ВДШ) соответственно равны $1,21 \text{ м/с}$; $2,42$ и $6,68 \text{ м/с}$.

При расчетах температурного режима шахты изменение температуры воздуха за зимний $t_n(\tau)$ период представляем в виде полусинусоиды [6]:

$$t_n(\tau) = \frac{\pi \Omega_3}{2\tau_3} \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot \tau}{3600 \cdot \tau_3}\right), \quad (3)$$

где Ω_3 – значения суммы градусо-часов температуры воздуха соответственно за зимний период, градус-час; τ_3 – продолжительность зимнего периода, ч.

Параметры Ω_3 , τ_3 , необходимые для расчета температуры воздуха, определяются на основе известных данных стационарных метеорологических наблюдений. Для метеостанции «Мирный» эти параметры следующие: $\Omega_3 = -103176$ градус-ч; $\tau_3 = 4964$ ч.

На рис. 2 приведена динамика изменений температуры наружного воздуха температуры шахтного воздуха на выходе из ВДШ при различных расходах воздуха. Из рис. 2 видно, что при расходе воздуха $16,3 \text{ м}^3/\text{с}$ температура воздуха в забое снижается до $-17,2^\circ\text{C}$, при расходе воздуха $32,6 \text{ м}^3/\text{с}$ – до $-22,9^\circ\text{C}$, а при расходе воздуха $90,17 \text{ м}^3/\text{с}$ – до -27°C .

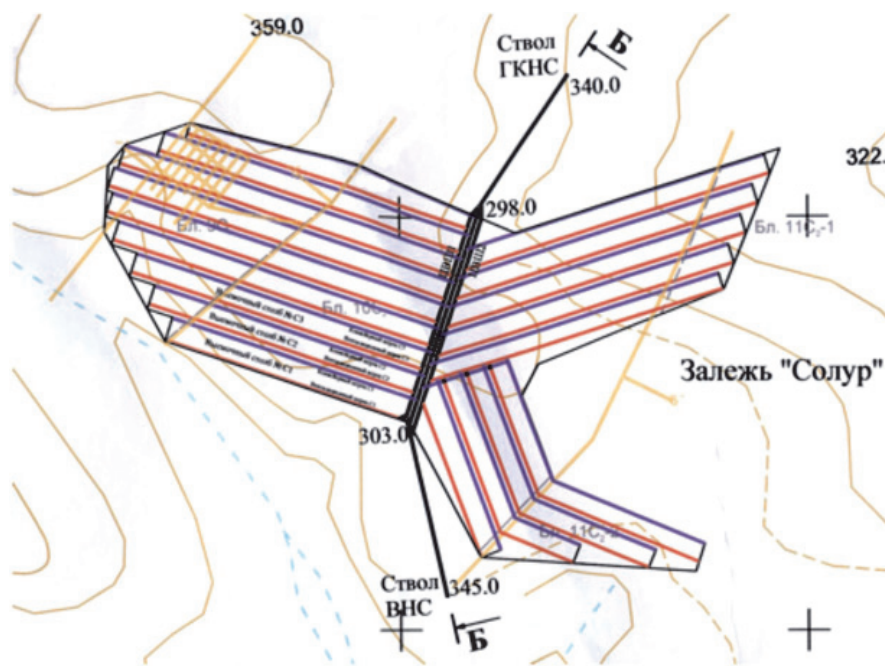


Рис. 1. Схема подготовки залежи «Солур» к отработке

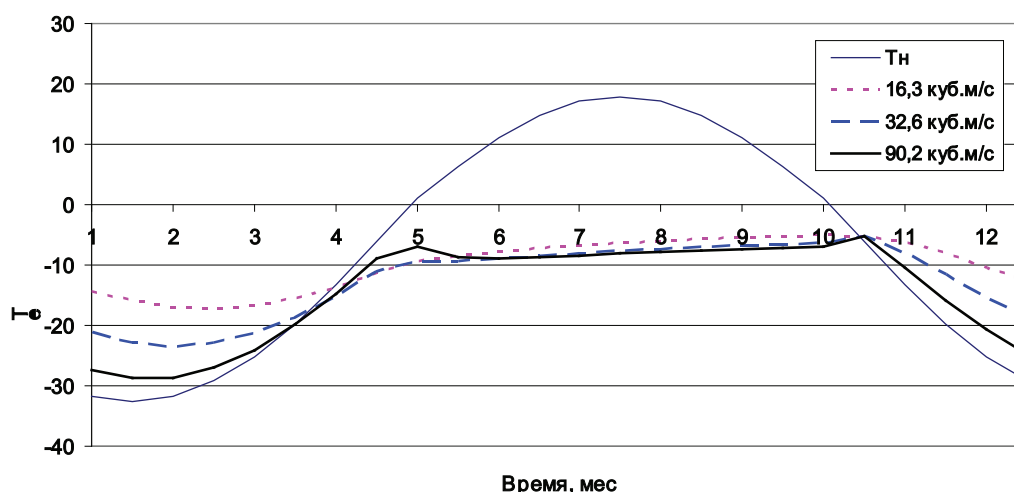


Рис. 2. Динамика температур наружного воздуха (T_g) и температур воздуха в забое при различных расходах воздуха в шахте «Солур» (длина выемочного столба 800 м)

На рис. 3–5 приведены рассчитанные распределения температур горных пород по глубине (на различных расстояниях от поверхности выработок). Из рисунков видно, что происходит постепенное снижение температуры окружающих пород до конца зимнего периода (например, во второй год до -15°C при расходе воздуха $16,3 \text{ м}^3/\text{с}$). При повышении расхода воздуха происходит дальнейшее снижение температуры окружающих пород. Как и ожидалось, подтверждается тенденция понижения температуры окружающих горных пород, поскольку в шахту подается только холодный

воздух, а летом шахта консервируется и подача наружного воздуха прекращается.

Основной вывод заключается в том, что в зимний период работы россыпной шахты происходит прогрессирующее охлаждение и аккумуляция холода окружающими горными породами. Тем самым обеспечиваются устойчивость горных выработок и безопасные условия труда горнорабочих. С другой стороны, снижение температуры окружающих пород приводит к их упрочнению, что может усложнить посадку и обрушение кровли при ведении очистных работ.

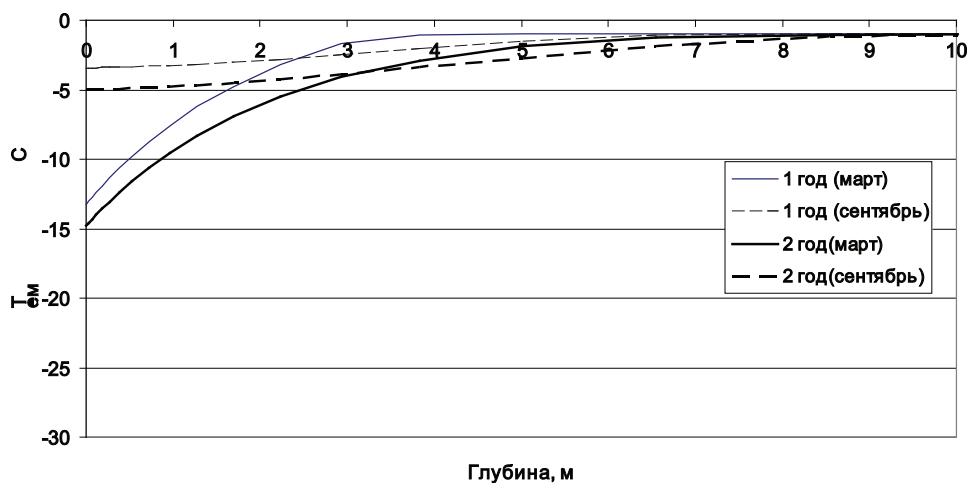


Рис. 3. Распределение температур горных пород по глубине в конце ВДШ при расходе воздуха $16,3 \text{ м}^3/\text{с}$

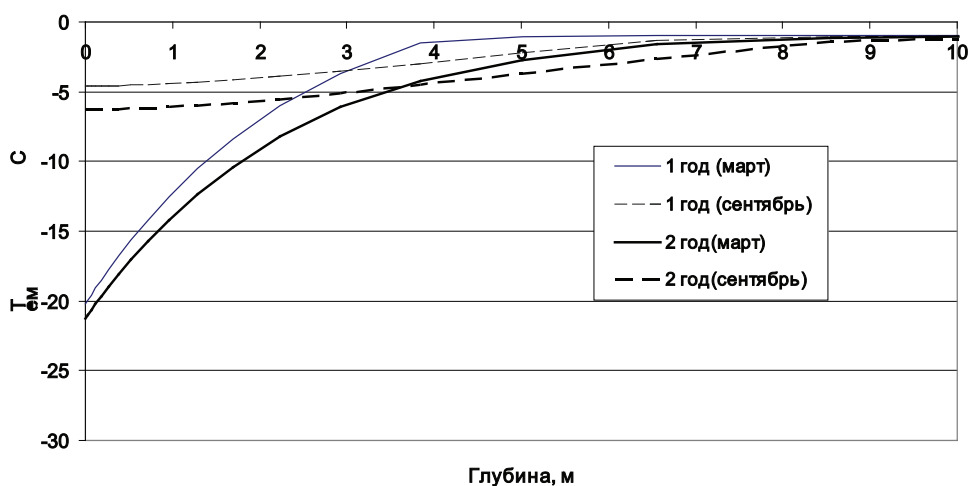


Рис. 4. Распределение температур горных пород по глубине в конце ВДШ при расходе воздуха $32,6 \text{ м}^3/\text{с}$

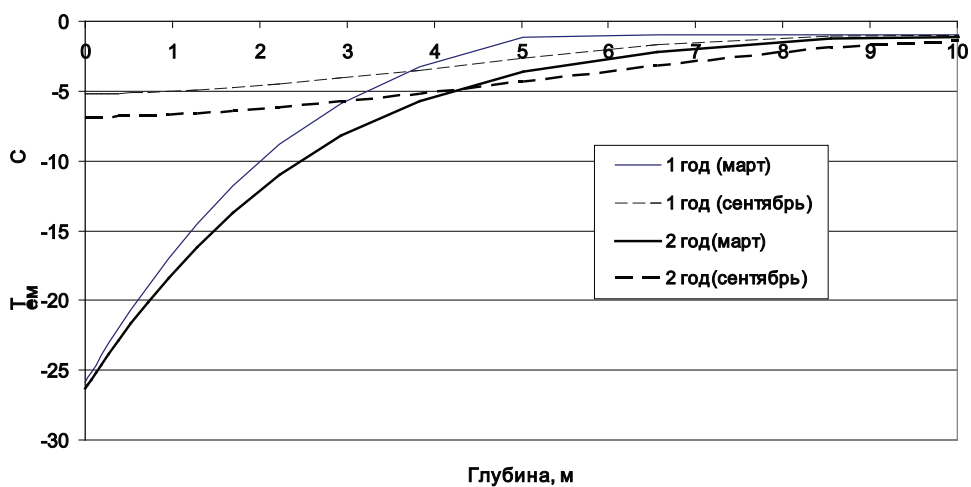


Рис. 5. Распределение температур горных пород по глубине в конце ВДШ при расходе воздуха $90,17 \text{ м}^3/\text{с}$

Заключение

Согласно Единым правилам безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом при разработке многолетнемерзлых россыпных месторождений температура подаваемого в шахту воздуха должна обеспечивать защиту горных пород от растепления [7]. При этом основным требованием при вентиляции шахты является недопущение подачи атмосферного воздуха с положительной температурой, чтобы предотвратить оттаивание окружающих горных пород.

Результаты проведенных расчетов подтверждают, что при отработке алмазонасыщенных россыпей в зимний период с временной консервацией россыпной шахты на летний период будет происходить устойчивое понижение температуры окружающих горных пород с повышением их прочности, поскольку в шахту подается только холодный воздух. Таким образом, происходит прогрессирующее аккумулятивное охлаждение окружающих горными породами и тем самым обеспечиваются устойчивость горных выработок и безопасные условия труда горнорабочих.

Однако для детального исследования зависимости прочностных характеристик вмещающих мерзлых пород (песков) месторождения «Солур» от изменений температур необходимо проведение специальных лабораторных исследований. Специальных исследований требует также решение вопросов обрушения кровли в очистных выработках, что предполагается принятой системой отработки, т.к. снижение температуры в свою очередь приводит к повышению устойчивости пород, что может усложнить посадку и обрушение пород кровли.

В призабойных участках шахты «Солур» в самый холодный период при расходе воздуха 16,3 м³/с (скорость воздуха 0,36 м/с) температура воздуха в забое снижается до -17,2°С, при расходе воздуха 32,6 м³/с (скорость воздуха 0,72 м/с) – до -22,9°С, что ниже допустимых норм.

При подаче воздуха в россыпную шахту с расходом 90,17 м³/с в очистном забое температура воздуха снижается до -27°С при скорости 2 м/с, т.е. в этом варианте устанавливаются очень жесткие климатические условия для работы горнорабочих. Согласно ЕПБ в шахтах, где параметры воздуха по температурному фактору отличаются от допустимых норм, должна применяться система мер по предупреждению переохлаждения организма горнорабочих [7].

Список литературы

1. Технологический регламент на подземную отработку месторождения «Солур»: отчет ИПКОН РАН. – М., 2013.
2. Шерстов В.А., Сигаев А.И., Кивилева Н.М., Хор Я.М. Совершенствование подземной разработки талых и мерзлых россыпей. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1989. – 164 с.
3. Хохолов Ю.А. Физико-техническое обоснование теплового режима горных выработок криолитозоны: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М.: МГУ, 1996. – 34 с.
4. Хохолов Ю.А., Соловьев Д.Е. Прогноз теплового режима рудника с учетом динамики развития горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 5. – С. 270–275.
5. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). – М.: Высш. школа, 1982. – 415 с.
6. Фельдман Г.М., Тетельбаум А.С., Шендер Н.И. и др. Пособие по прогнозу температурного режима грунтов Якутии. – Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО РАН СССР, 1988. – 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).

References

1. Technological regulations for underground mining deposit «Solur»: report IPKON RAS. Moscow, 2013.
2. Sherstov V.A., Sigayev A.I., Kivileva N.M., Khor Y.M. Improvement of underground mining thawed and frozen placers – Yakutsk: Yakut branch of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1989. 164 p.
3. Khokholov YU.A. Physical and technical rationale for the thermal regime of mining Cryolithozone: Author. Dis. ... Doctor. tehn. Sciences. Moscow: Moscow State Mining University, 1996, 34 p.
4. Khokholov YU.A., Solovyov D.E. Forecast of the thermal regime of the mine based on the dynamics of mining operations. [Mining information-analytical bulletin]. 2009. no. 5. pp. 270–275.
5. Bogoslovski V.N. Building thermal physics (thermophysical fundamentals of heating, ventilation and air conditioning). M.: Higher School 1982. 415 p.
6. Feldman G.M., Tetelbaum A.S., Shender N.I. and others. Prognosis of temperature soils of Yakutia. Yakutsk Permafrost Institute of Russian Academy of Sciences of the USSR, 1988. 240 p.
7. Common safety rules for the mining of ore, non-metallic and placer mineral deposits underground method (PB 03-553-03). Resolution Gosgortekhnadzor Russia from 13.05.03 no. 30 (registered by Ministry of Justice of Russia 28.05.03, reg. no. 4600).

Рецензенты:

Матвеев А.И., д.т.н., заведующий лабораторией обогащения полезных ископаемых, ФГБУН «Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского» Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск;

Сукнев С.В., д.т.н., заведующий лабораторией механики геоматериалов, ФГБУН «Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского» Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск.

Работа поступила в редакцию 27.12.2014.