

оптоволоконных датчиков позволяет в автоматическом режиме (непрерывно) контролировать температурную динамику крепи и примыкающего к ней массива и периодически производить калибровку теплофизической модели, не позволяя ей удаляться от реальной ситуации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29 декабря 2020 г. (рег. номер 12201200396-6).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Насонов И.Д., Шуплик М.Н. Закономерности формирования ледопородных ограждений при сооружении стволов шахт. – М.: Недра, 1976. – 236 с.: ил.
2. Трупаков Н.Г. Замораживание грунтов в подземном строительстве. – М.: Недра, 1974. – 278 с.: ил.
3. Левин Л.Ю., Семин М.А., Зайцев А.В. Калибровка теплофизических свойств породного массива при моделировании формирования ледопородного ограждения строящихся шахтных стволов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2019. – № 1. – С. 172-184.
4. «Frozen Wall»: программа для ЭВМ: свидетельство о гос. регистрации № 2018666337 / Богомяков А.В., Зайцев А.В., Клюкин Ю.А., Левин Л.Ю., Паршаков О.С., Пугин А.В., Семин М.А.; заявитель и правообладатель ПФИЦ УрО РАН. – 2018663501; заявл. 28.11.2018; зарегистрировано 17.12.2018; опублик. 17.12.2018. – 1 с.
5. Сквацинный оптоволоконный датчик непрерывного контроля температуры: Пат. 038447 Евразийское патентное ведомство (ЕПВ): E21B 47/07 (2012.01)... / Головатый И.И., Барбиков Д.В., Зайцев А.В., Левин Л.Ю., Паршаков О.С., Пугин А.В., Семин М.А., Дьяконов А.С.; заявитель и патентообладатель: ОАО «Беларуськалий», ПФИЦ УрО РАН. – № 2019000097; заявл. 06.09.2019; опублик. 30.08.2021. Бюл. № 8. – 4 с.
6. Levin L., Golovaty I., Zaitsev A., Pugin A., Semina M. Thermal monitoring of frozen wall thawing after artificial ground freezing: Case study of Petrikov Potash Mine // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2021. – V. 107. – № статьи 103685. – DOI 10.1016/j.tust.2020.103685.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2022.3.15

НАУЧНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК РУДНИКА «СКАЛИСТЫЙ» ЗФ ПАО «ГМК «НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ» В УСЛОВИЯХ ВЫДЕЛЕНИЯ ГОРЮЧИХ И ЯДОВИТЫХ ГАЗОВ

О.С. Паршаков¹, Н.Н. Уткин², А.А. Давыдов²

¹Горный институт УрО РАН, г. Пермь

²ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»

Аннотация: В работе представлено краткое описание горно-геологических и горно-технических условий разведочных выработок рудника «Скалистый». Приводятся результаты экспериментальных и лабораторных исследований, полученные в ходе научного сопровождения строительства выработок РВ-1, РВ-2. На основании результатов исследований предложены рекомендации по повышению безопасности ведения разведочных работ в условиях выделения горючих и ядовитых газов, а также намечены дальнейшие направления исследований в целях установления природы и поведения газовыделений при перспективном освоении глубоких залежей богатых руд.

Ключевые слова: рудник, разведочные выработки, экспериментальные исследования, лабораторные исследования, концентрация газа, газоносность пород.

Введение

Производительность труда, здоровье и жизнь рабочих зависит от состояния атмосферных условий в подземных горных выработках – газового состава руд-

ничного воздуха, его температуры и скорости движения [1, 2]. Газовый состав рудничного воздуха важен с точки зрения обеспечения нормальных санитарно-гигиенических и безопасных условий труда горнорабочих. Допустимое содержание горючих и вредных газов в рудничном воздухе регламентируется требованиями Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» (ФНиП ПБ) [3]. Кроме этого, согласно п. 162 ФНиП ПБ: «Организации, эксплуатирующие шахты, на которых обнаружено (или по геологическим данным прогнозируется) выделение горючих или ядовитых газов, должны иметь заключение научной организации о составе, масштабе, местах и характере выделения газов и паров. На основании полученных данных разрабатывается комплекс мероприятий по безопасному производству работ в условиях «газового режима».

В октябре 2020 года при выполнении разведочных работ из разведочной выработки РВ-1 шахты «Глубокая» рудника «Скалистый» из опережающей скважины произошло газовыделение метана (CH_4) и окиси углерода (CO). Приборы, находившиеся в выработке, зафиксировали превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) по газам. Выделение горючих и ядовитых газов не привело к серьезным последствиям, однако повлияло на график разведочных работ. В результате для определения состава, масштаба, мест и характера выделения газов при разработке новых глубокозалегающих залежей рудника «Скалистый» требовалось провести исследования газовой обстановки разведочных выработок. Таким образом, перед специалистами «ГИ УрО РАН» появилась интересная задача, заключающаяся в научном сопровождении проходки разведочных выработок полиметаллического рудника в условиях выделения горючих и ядовитых газов.

Результаты научного сопровождения позволили оценить текущую ситуацию и ее влияние на безопасность ведения разведочных работ, а также разработать рекомендации по дальнейшему их ведению.

Краткие сведения о разведочных выработках рудника «Скалистый»

Работы в разведочных выработках РВ-1, РВ-2 рудника «Скалистый» осуществляются с целью строительства сбойки между шахтными стволами и вскрытия рудной залежи Октябрьского месторождения (соединяющих по кратчайшему пути стволы ВС-10 и СКС-1) с последующим целевым использованием (назначением) выработок в качестве вентиляционно-закладочного и откаточного горизонтов соответственно.

В процессе проходки разведочных выработок выполняются необходимые геологические, геомеханические и другие исследования. Проходка выработок осуществляется буровзрывным способом. Глубина ведения разведочных работ достигает 2 000 м.

Каркасная модель рудника «Скалистый» с указанием разведочных выработок РВ-1, РВ-2 представлена на рисунке 1.

Следует добавить, что рудник «Скалистый» включает эксплуатируемую шахту «Верхняя» и проектируемую шахту «Глубокая», к которой относятся разведочные выработки РВ-1, РВ-2.

Анализ горно-геологических и горно-технических условий

Октябрьское месторождение имеет сложное геологическое строение [4]. В нем принимают участие отложения нижнего и среднего палеозоя, состоящие в основном из карбонатных пород, и верхнего палеозоя, представленные континентальными угленосными отложениями тунгусской серии. Широкое развитие имеют

породы туфолавовой толщи и интрузивные породы. Интрузивные тела, гидротермальные и рудные растворы оказали большое влияние на вмещающие отложения, которое выразилось в переплавлении и частичной перекристаллизации отдельных пород, образовании роговиков, окремнений, карбонатизации. Также месторождение, в силу своего месторасположения, характеризуется наличием многочисленных разрывных нарушений, которые сопровождаются зонами трещиноватых пород.

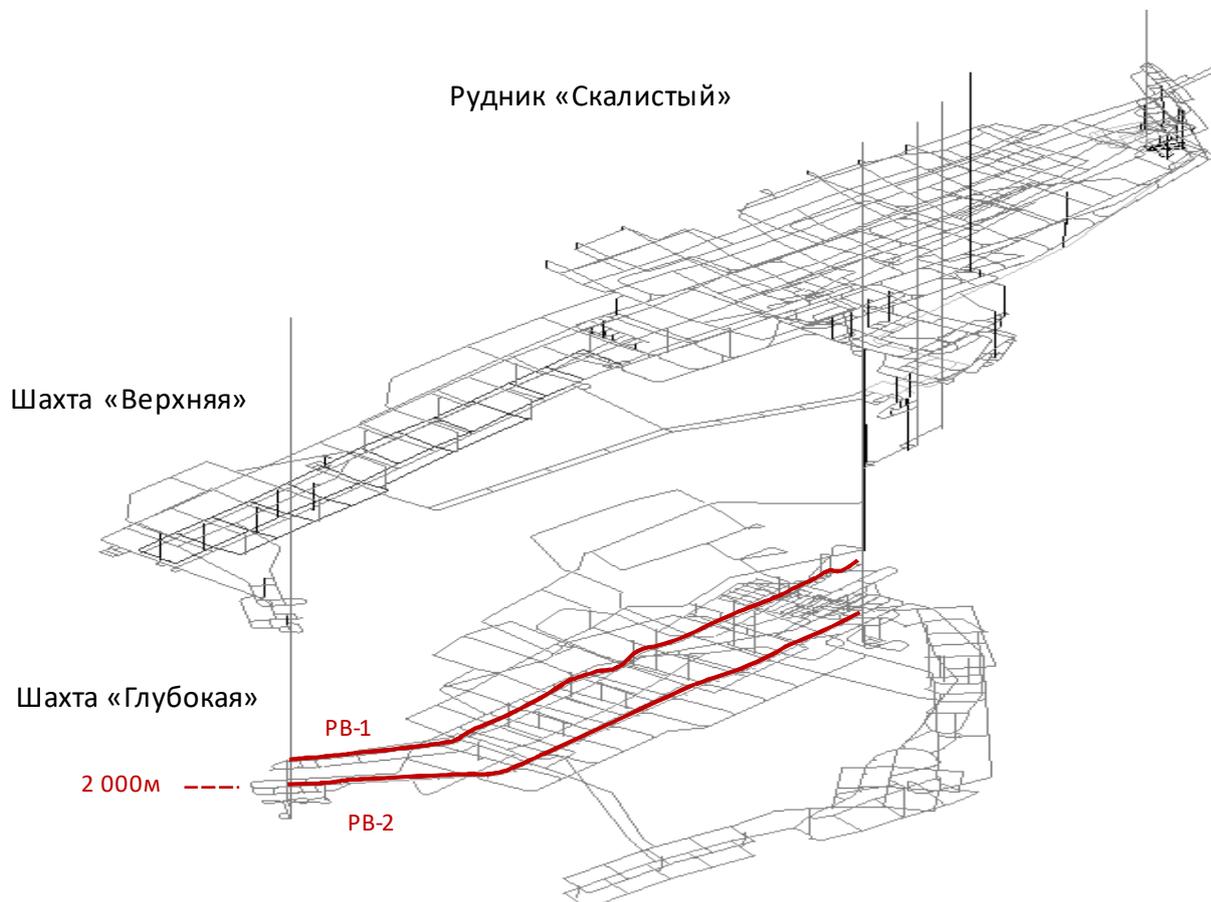


Рис. 1. Каркасная модель рудника «Скалистый»

Анализ исходных данных по газоносности горных пород и газовыделений из них показывает, что наиболее газоносными являются угленосные отложения тунгусской серии. В связи с расположением действующих горных выработок в основном в породах девона, силура и изверженных, вышележащие породы тунгусской серии не оказывают значительного влияния на характер и интенсивность газовыделений. Поступление метана в рудничный воздух эксплуатируемых выработок из пород тунгусской серии весьма незначительно из-за большой удаленности от них рудоносного интрузива.

В целом зафиксированные ранее газовыделения в условиях рудника «Скалистый» представлены обыкновенными выделениями с обнаженных поверхностей горных пород и из отбитой горной массы в процессе производства проходческих и очистных работ. Источниками газа являются участки тектонически нарушенных и трещиноватых пород, а также зоны контактного термометаморфизма пород. Особенностью этих газовыделений заключается в безнапорном характере, кратковременности и низкой интенсивности.

Однако в условиях разведочных выработок РВ-1, РВ-2 периодически при бурении шпуров под отбойку и геологоразведочных скважин наблюдаются газопроявления [5]. В связи с этим для определения состава, масштаба, мест и характера возможных газодинамических явлений в процессе разработки глубоких горизонтов рудника «Скалистый» требовалось провести комплексные исследования газовой обстановки выработок РВ-1, РВ-2.

Методика исследований газовой обстановки разведочных выработок

С учетом результатов анализа горно-геологических и горно-технических условий ведения горных работ разработана методика исследования газовой обстановки разведочных выработок РВ-1, РВ-2. Методика включает ряд экспериментальных и лабораторных исследований.

В рамках экспериментального изучения газовой обстановки:

- отбирались пробы рудничного воздуха и горных пород для лабораторного анализа;
- проведены измерения параметров проветривания и газораспределения в выработках РВ-1, РВ-2;
- проведены замеры выделений горючих газов из шпуров и скважин.

В рамках лабораторного изучения газовой обстановки:

- определен газовый состав проб рудничного воздуха;
- определена газоносность горных пород по связанным газам;
- проведен хроматографический анализ компонентного состава свободных и связанных газов горных пород.

Результаты исследований

Измерения параметров проветривания и газораспределения проводились в забоях выработках, в устьях выработок и по их длине. На рисунке 2 представлены забой выработки РВ-1 и ее участок с теплоизолированным вентиляционным трубопроводом.



Рис. 2. Фотоснимки элементов разведочной выработки РВ-1

В таблице 1 представлены результаты определения концентраций вредных газов, содержащихся в рудничной атмосфере разведочной выработки РВ-1. Следует отметить, что концентрации ядовитых и горючих газов получены при помощи экспресс-методов (портативных газоанализаторов и индикаторных трубок) и лабораторного анализа (газового хроматографа).

Таблица 1

Результаты измерений концентраций вредных газов
в выработке РВ-1

Место замера / отбора проб	Расход воздуха, м ³ /с	Давление воздуха в выработке, Па	Концентрация газов									
			O ₂ , %	CO ₂ , %	N ₂ , %	CO, ppm	NO, ppm	NO ₂ , ppm	SO ₂ , ppm	H ₂ S, ppm	H ₂ , %	CH ₄ , %
Забой (экспресс-метод)	10,0	118 590	20,9	0,04	-	0	0,3	0	0,2	0	-	0
Забой (лаб. анализ)			20,9	0,03	78,1	0	-	-	-	-	0,0000009	0,00357
Устье (экспресс-метод)	15,5	119 245	20,9	0,03	-	0	0,3	0,3	0	0	-	0
Устье (лаб. анализ)			20,9	0,03	78,3	0	-	-	-	-	0,0000076	0,00900
Допустимые концентрации:			20,0	0,5	-	17,0	-	1,0	3,8	7,1	0,5	0,5

Нетрудно видеть, что все концентрации зафиксированных газов находились в пределах допустимых значений. При этом необходимо добавить, что в таблице 1 представлены максимальные зафиксированные концентрации за все время сопровождения проходки выработки. Кроме этого, все результаты замеров получены и приведены с учетом максимального исключения влияния техногенных источников на параметры рудничной атмосферы.

Для оценки безопасности ведения разведочных работ в условиях выделения горючих газов на основе лабораторного анализа проб рудничного воздуха рассчитана абсолютная газообильность разведочных выработок (таблица 2).

Таблица 2

Абсолютная газообильность выработки РВ-1

Газ	Расход воздуха в выработке, м ³ /сут	Концентрация газа в исходящей струе воздуха, %	Фоновая концентрация во входящей струе воздуха, %	Газообильность, м ³ /сут
CH ₄	1 339 200	0,0090000	0,0005400	133,3
H ₂	1 339 200	0,0000076	0,0000021	0,07

В соответствии с полученными результатами установлено, что абсолютная газообильность разведочных выработок на несколько порядков ниже количества воз-

духа, подаваемого в выработки. Это свидетельствует о том, что объем выделяющихся природных горючих газов является незначительными и не оказывает влияние на безопасность ведения работ с точки зрения взрывоопасности рудничной атмосферы.

Результаты исследований газоносности пород показали, что газоносность пород по свободным газам в выработках изменяется от 0,05 до 0,15 м³/м³. Максимальное начальное давление свободных газов в массиве 0,190 МПа. Начальная скорость газовыделения составила 0,19 л/мин. Газоносность пород по связанным газам изменяется от 0,019 до 0,067 м³/м³. Компонентный состав газов в породах метаново-азотный.

Таким образом, принимая во внимание результаты исследований, можно сделать выводы о том, что концентрации ядовитых и горючих газов в разведочных выработках находятся в пределах допустимых значений, а газоносность пород имеет весьма низкие значения. Однако в ходе научного сопровождения выработок из геологоразведочных скважин, пробуренных в выработках РВ-1, РВ-2, наблюдались непрерывные газовыделения метана. Концентрация метана в устье скважин превышала нижний предел взрываемости. При этом объем выделяющегося газа в выработку в сравнении с поступающим на ее проветривание объемом незначителен – в самой выработке концентрация метана находилась на уровне фоновых значений. Анализ журналов бурения скважин и геологическое описание керна свидетельствуют о том, что в интервалах газопроявлений имеется дискование керна, наличие трещиноватых пород и наличие границ геологических разностей [5]. Непрерывное выделение горючего газа в рудничную атмосферу выработки РВ-1 указывает на необходимость выполнения дополнительных исследований с учетом структурно-геологических наблюдений и минералогического изучения.

Необходимо добавить, что по результатам научного сопровождения проходки разведочных выработок РВ-1, РВ-2 разработаны рекомендации по безопасному ведению горных работ в условиях выделения горючих и ядовитых газов.

Выводы

Результаты исследования позволяют предполагать, что основную опасность при проходке разведочных выработок РВ-1, РВ-2 рудника «Скалистый» представляют очаговые и приконтактные скопления свободных газов, которые будут выделяться в призабойное пространство выработок. При этом характер газовыделений может быть различным, в отдельных случаях возможно повышенное газовыделение, сопровождающееся образованием ударной воздушной волны.

В рамках научного сопровождения строительства разведочных выработках нештатных ситуаций, связанных с газопроявлениями зафиксировано не было. Однако в ходе обследования выработок наблюдались непрерывные газовыделения метана из пробуренных геологоразведочных скважин и в забое выработки РВ-1. Концентрация метана в устье скважин превышала нижний предел взрываемости. Несмотря на незначительные выделения метана в рудничную атмосферу разведочных выработок, рекомендовано производить непрерывный контроль за источником газовыделений в части установления динамики изменения дебита и концентрации взрывоопасного газа. Кроме этого, рекомендовано выполнить структурно-геологические наблюдения, минералогические исследования, гидрогеологическое и газво-геохимическое изучение газо- и рассолопроявлений. Структурно-геологические наблюдения для оценки общей ситуации и последующий мониторинг выявленных геологических осложнений, а также минералогические исследования позволят

оценить состав руд и скорость окислительных процессов в массиве, гидрогеологические и газовой-геохимические исследования – определить природу и поведение рассолов и газов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29 декабря 2020 г. (рег. номер 121111800053-1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А., Медведев И.И. Аэрология горных предприятий: [учебник]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1987. – 421 с.
2. Семин М.А., Исаевич А.Г., Трушкова Н.А., Бублик С.А., Казаков Б.П. К вопросу о расчете распространения вредных примесей в системах горных выработок // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2022. – № 2. – С. 82-93. – DOI: 10.15372/FTPRPI20220208.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»: утв. 08.12.2020, № 505, действуют с 01.01.2021 г. – М.: ЗАО «НТЦ исследований проблем пром. безопасности, 2021. – 520 с. – (Документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр: сер. 03, вып. 78).
4. Кайтмазов Н.Г. Производство металлов за полярным кругом: технологич. пособие. – Норильск, 2007. – 597 с.
5. Нестеров Е.А. Газопроявления при проходке разведочных выработок на руднике Скалистый ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» // Горное эхо. – 2022. – № 2 (87). – С. 123-129. – DOI: 10.7242/echo.2022.2.20.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2022.3.16

РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ ПРИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ И ТОЧЕЧНЫХ ПОЖАРАХ В РУДНИЧНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЯХ

М.Д. Попов, А.В. Таций
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В статье описан предложенный авторами подход к определению мощности тепловыделения от распределенных и точечных пожаров с целью определения исходных данных для инженерных расчетов на ЭВМ необходимых в силу пункта 26 Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работы». В работе представлены две методики расчета тепловыделения: при точечных и распределенных пожарах, а также результаты расчета для различной применяемой в подземных рудниках техники.

Ключевые слова: рудник, подземный пожар, аварийная ситуация, тепловыделение, безопасность.

Введение

Современные правила в области промышленной безопасности [4] в соответствии с пунктом 26 устанавливают требования для проведения инженерных расчетов, к которым относятся: расчеты параметров развития пожара, режимов проветривания и противопожарного водоснабжения, устойчивости проветривания при пожаре в вертикальных или наклонных горных выработках, зон поражения при пожарах и взрывах проводятся с использованием программного обеспечения на