

УДК 622.831.1

Терешкин Андрей Александрович
научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН,
680000 г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51
e-mail: andrey.tereshkin@bk.ru

Рассказов Максим Игоревич
научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН

Цой Денис Игоревич
научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН

Константинов Александр Викторович
научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН

Аникин Павел Александрович
к.т.н., ведущий научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ

Аннотация:

При разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом производственники зачастую сталкиваются с проблемой повышенного горного давления, которое может быть обусловлено влиянием толщи вышелегающих пород, а также региональными и местными тектоническими проявлениями. Зачастую горное давление может возникнуть вследствие неправильно выбранной системы отработки месторождения. В современном мире существует ряд различных геофизических и геомеханических методов для мониторинга зон повышенного горного давления. В данной работе представлены результаты исследования температурного режима образцов горных пород месторождения «Южное» АО «ГМК Дальполиметалл». Измерения проводились при достижении предела прочности на одноосное сжатие. По результатам измерений у 30 % испытываемых образцов удалось зафиксировать изменение температуры при достижении предела прочности на сжатие. Проведенные исследования измерений температурного режима образцов показали, что существует определенная взаимосвязь изменения температуры горных пород и их напряженного состояния, что указывает на перспективность термографического метода для оценки состояния горного массива. Метод термографии может быть использован как бесконтактный метод оперативной оценки напряженного состояния локальных участков горных выработок путем анализа результатов измерений температуры приконтурных участков при помощи регистрации тепловизионной установкой изменения температуры горной породы, что вызвано влиянием горного давления на массив. Полученные данные могут помочь при выявлении локальных участков с повышенным горным давлением при разработке сложноструктурных месторождений полезных ископаемых. Данный метод является бесконтактным и оперативным, что очень важно в условиях отработки опасных подземных рудников, склонных к горным ударам.

Ключевые слова: горное давление, прогноз горных ударов, термография, инфракрасное излучение, тепловизор, предел прочности.

DOI: 10.25635/2313-1586.2021.02.105

Tereshkin Andrey A.
Researcher,
Mining Institute, Far Eastern Branch of RAS,
680000 Khabarovsk, 51 Turgenev Str.
e-mail: andrey.tereshkin@bk.ru

Rasskazov Maksim I.
Researcher,
Mining Institute, Far Eastern Branch of RAS

Tsoi Denis I.,
Researcher,
Mining Institute, Far Eastern Branch of RAS

Konstantinov Alexander V.
Researcher,
Mining Institute, Far Eastern Branch of RAS

Anikin Pavel A.
Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences,
Mining Institute, Far Eastern Branch of RAS

LABORATORY RESEARCH OF THE THERMAL PROPERTIES OF ROCKS UNDER DYNAMIC SHATTERING

Abstract:

In the development of mineral deposits by the underground method, industrial workers often face the problem of increased rock pressure, which can be caused by certain conditions of the overlying rocks, as well as regional and local tectonic manifestations. Oftentimes overburden pressure can be ordered with an incorrectly selected field development system. In the modern world, there are a number of different geophysical and geomechanical methods for monitoring high rock pressure zones. This paper presents the results of a study of the temperature regime of rock examples of the "Yuzhnoye" deposit of AO "GMK Dalpolimetal". The measurements were carried out when the ultimate strength for uniaxial pressure was reached. According to the results of measurements in 30% of the tested samples, it was possible to record the change in temperature when the ultimate compressive strength was reached. The conducted studies of the temperature regime have shown that there is a certain relationship between the temperatures of rocks and their stress state. The thermography method can be used as a non-contact method for operational assessment of the stress state of local sections of mine workings by analyzing the results of temperature measurements of the border areas, by registering the temperature change of the rock caused by the influence of rock pressure on the massif with a thermal imaging unit. The obtained data can help in identifying local areas with increased rock pressure during the development of complex-structured mineral deposits. This method is non-contact and operational, which is very important in the conditions of mining dangerous underground mines that are prone to rock bursts.

Keywords: rock pressure, forecast of rock bursts, thermography, infrared radiation, thermal imager, ultimate strength.

Введение

При разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом производители зачастую сталкиваются с проблемой повышенного горного давления, которое может быть обусловлено влиянием толщи вышележающих пород, а также региональными и местными тектоническими проявлениями. Зачастую горное давление может возникать вследствие неправильно выбранной системы отработки месторождения. Таким образом, повышенное горное давление может проявляться как в статической, так и в динамической форме [1 – 7].

В современном мире существует ряд различных геофизических и геомеханических методов для мониторинга зон повышенного горного давления [8 – 16]. Базовым считается метод дискования керна, который основан на изучении формы и параметров выбуренных образцов. Также геомеханическими являются метод «вдавливания Пуансона» и метод анализа трещиноватости.

Из геофизических наибольшее распространение получили сейсмический, акустический и электромагнитный методы. Физической основой данных методов является зависимость энергии, амплитуды, длительности, частоты, скорости распространения и других параметров акустических и электромагнитных колебаний от напряженного состояния и физико-механических свойств горных пород [17 – 21].

В данной работе проведен анализ температурного режима горных пород в условиях их нагружения и частичного разрушения.

Теоретическая часть

Каждое тело или вещество, которое нас окружает, имеет способность излучать, отражать и пропускать инфракрасное излучение.

Тепловое излучение – процесс распространения электромагнитных колебаний с различной длиной волн, обусловленный тепловым движением атомов или молекул излучающего тела. Возникновение потока лучей в результате превращения тепловой энергии в лучистую называется излучением или лучеиспусканием, а обратный переход лучистой энергии в тепловую называют поглощением лучей.

Другими словами, коэффициент излучения ϵ — это степень способности материала выделять инфракрасное излучение. Он является важнейшей характеристикой любого серого тела и изменяется в зависимости от свойств поверхности, материала и в случае с некоторыми материалами – от температуры измеряемого объекта.

Также важным показателем является коэффициент отражения ρ , который характеризует степень способности материала отражать инфракрасное излучение и зависит от свойств поверхности, температуры и типа материала.

Коэффициент пропускания τ зависит от типа и толщины материала и, как правило, не участвует в расчетах, так как редко играет значительную роль на практике.

В современном мире метод термографии широко используется во многих сферах жизни и деятельности человека и с каждым годом расширяет границы применения по причине высокого темпа развития микропроцессорных технологий [22 – 25].

Среди главных преимуществ инфракрасной термографии можно назвать следующие:

- 1) бесконтактный способ проведения измерений, обеспечивающий отсутствие влияния на температурное поле исследуемого объекта и безопасность персонала;
- 2) высокую скорость проведения измерений;
- 3) высокую температурную чувствительность – определение температуры с точностью до сотых долей градуса;
- 4) высокую пространственную разрешающую способность;
- 5) возможность определения внутренних дефектов по температурному полю поверхности объекта;

б) возможность исследования одним и тем же тепловизором, как сверхмалых (до сантиметров и менее), так и больших (до сотен метров) объектов;

7) широкий диапазон измеряемых температур – от $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+2000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Экспериментальные исследования по изменению температуры геоматериалов проводились в работе [26]. В данной работе был рассмотрен температурный режим образцов при испытании на растяжение, одноосное сжатие и трехосное сжатие. Получены уравнения связи, позволяющие прогнозировать температуру геоматериалов в зоне магистральной трещины разрушения в зависимости от разрушающей нагрузки. Предложен способ оценки напряженного состояния материалов по данным инфракрасного излучения.

Объект и методика измерений

Для исследования температурного режима было подготовлено 59 образцов керна алевролита, отобранных с горизонта $+395$ м месторождения «Южное» АО «ГМК Дальполиметалл», которое находится в Дальнегорском районе Приморского края [27]. Измерения проводились параллельно с испытаниями образцов на предел прочности одноосного сжатия (рис. 1а). Для проведения испытаний использовался пресс фирмы ToniPACT II (рис. 1б).

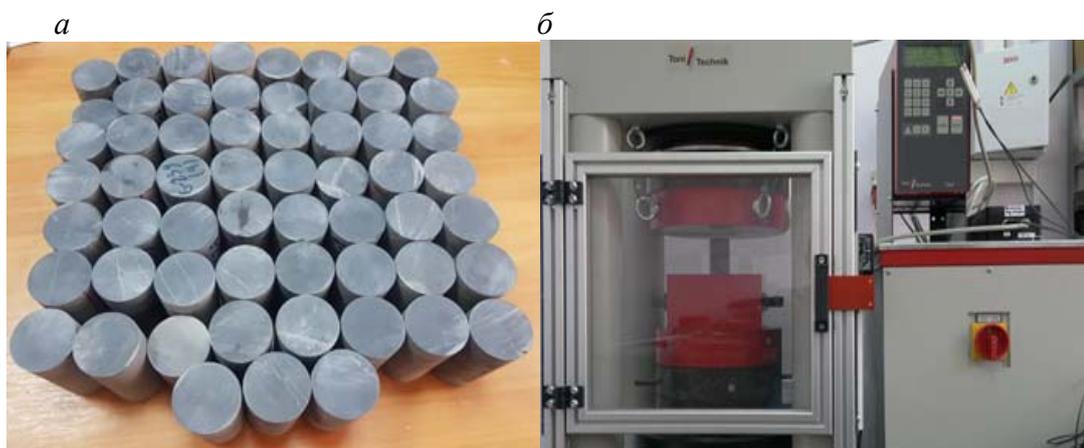


Рис. 1. Исследование температурного режима образцов алевролита:
а – образцы испытываемых горных пород; б – размещение образца между плитами испытательной машины ToniPACT II

Образец размещают между стальными плитами (рис 2 а), совмещая ось образца с центром нижней опорной плиты испытательной машины, и нагружают до разрушения с равномерной скоростью $1,5\text{ МПа/с}$ [28 – 29].

Измерения температурного режима образцов проводились при помощи тепловизора Testo № 865, технические характеристики которого представлены в табл. 1. Также в процессе измерений велась непрерывная видеосъемка результатов термографического наблюдения испытываемых образцов (рис. 2 б).

Таблица 1

Технические характеристики тепловизора Testo № 865

Инфракрасное разрешение	160 × 120 пикселей
Частота обновления кадра	9 Гц
Поле зрения	31° × 23°
Температурная чувствительность	120 мК
Спектральный диапазон	7,5 ... 14 μm
Диапазон измерений	-20 ... +280 °C
Погрешность	±2 °C, ±2 %
Коэффициент излучения	0,01 ... 1

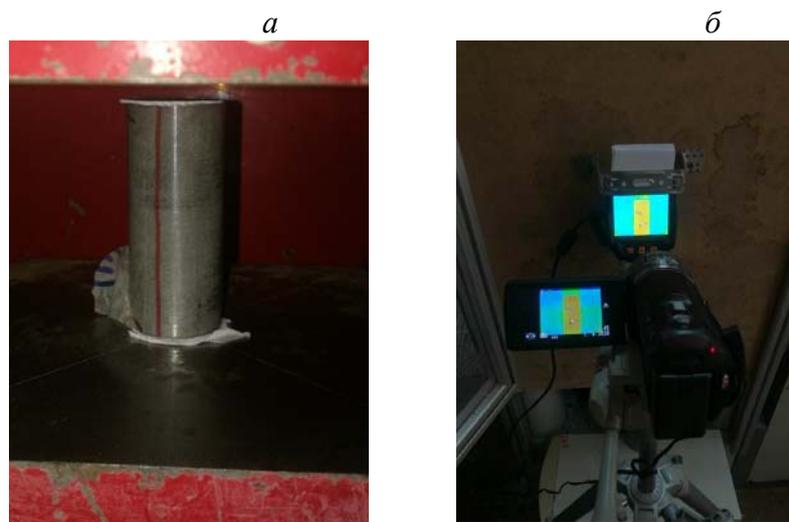


Рис. 2. Термографическое измерение поведения образцов алевролита при помощи тепловизора

Результаты измерений

По результатам измерений у 30 % испытуемых образцов удалось зафиксировать изменение температуры при достижении предела прочности на сжатие. При проведении эксперимента наблюдался различный характер разрушений образцов, начиная от «отстрела» кусков породы размерами до 5 мм, заканчивая полным разрушением керна на обломки, не превышающие 10 мм. В табл. 2 приведены результаты замеров образцов с повышением температуры их поверхности при разрушении более чем на 1°C. Основными параметрами в табл. 2 являются предел прочности на сжатие $\sigma_{сж.}$, мПа и изменение температуры ΔT , °C.

Таблица 2

Результаты тепловизионных измерений образцов горных пород месторождения Южное

№ образца	Идентификатор образца	F , kN	$\sigma_{сж.}$, мПа	$T_{нач.}$, °C	$T_{разр.}$, °C	ΔT , °C
1	28(3)	277,21	202,98	22,7	27,3	4,6
2	60(2)	281,68	205,27	24,3	28,5	4,2
3	60(4)	170,32	124,11	25,5	29,7	4,2
4	60(6)	205,53	149,77	24,0	25,2	1,2
5	89,8(1)	192,89	141,24	20,1	21,2	1,1
6	89,8(3)	369,19	270,33	24,7	29,7	5,0
7	89,8(5)	316,98	232,10	24,2	26,6	2,4
8	116(2)	364,89	271,07	22,1	24,3	2,2
9	116(4)	270,88	201,22	22,4	26,7	4,3
10	179(5)	233,33	170,03	21,9	23,4	1,5
11	179(6)	207,23	151,01	24,4	28,3	3,9
12	208(1)	475,78	348,37	23,1	26,4	3,3
13	208(2)	334,11	247,00	23,7	30,2	6,5
14	208(3)	158,62	116,14	23,9	25,7	1,8
15	208(5)	256,14	186,65	20,7	25,6	4,9
16	239(2)	314,52	229,20	24,4	28,2	3,8
17	26(5)	216,01	158,93	21,1	26,6	5,5
18	26(6)	224,75	164,57	22,8	28,4	5,6

На рис. 3 – 5 изображены результаты измерений в графическом виде.

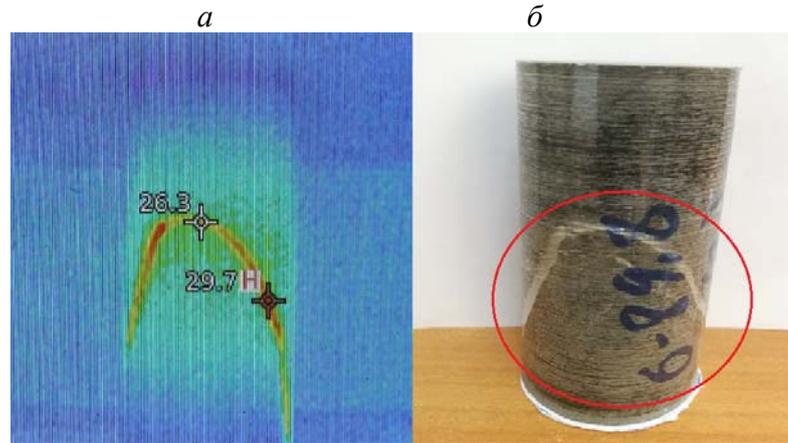


Рис. 3. *a* – тепловой снимок образца 89,8 (3) в момент разрушения;
б – образец после разрушения

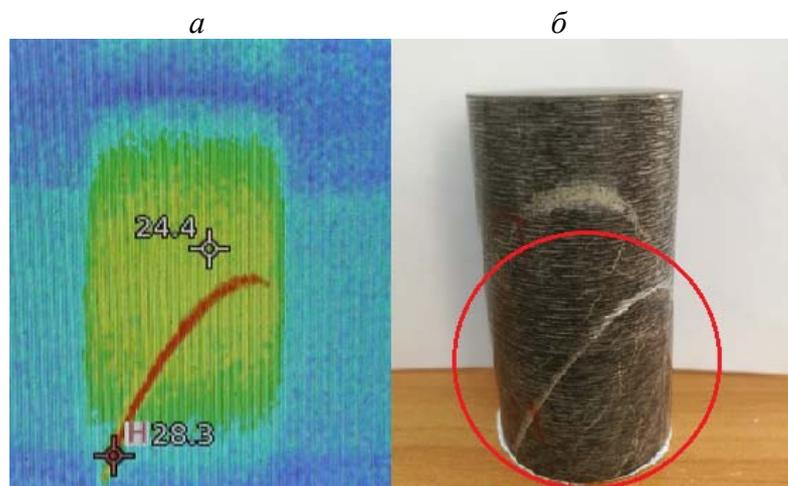


Рис. 4. *a* – тепловой снимок образца 179(6) в момент разрушения;
б – образец после разрушения

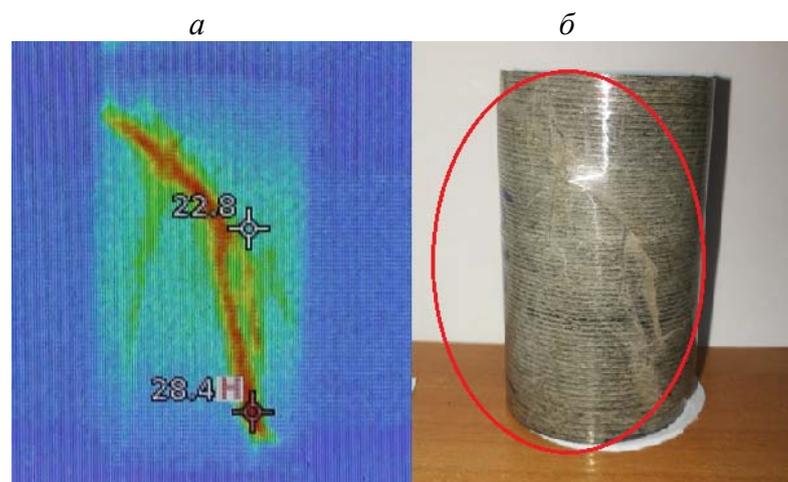


Рис. 5. *a* – тепловой снимок образца 26(6) в момент разрушения;
б – образец после разрушения

Режим работы тепловизора был настроен таким образом, чтобы в процессе измерений на мониторе отображать температуру центральной точки, а также точку с максимальной температурой. Разница температур в зависимости от предела прочности образцов лежит в диапазоне от 1,1 до 6,5 °С. Соответственно, предел прочности на одноосное сжатие лежит в диапазоне 116,14 – 348,37 мПа.

По результатам измерений построен и аппроксимирован график зависимости значения ΔT от $\sigma_{сж}$ (рис. 6).

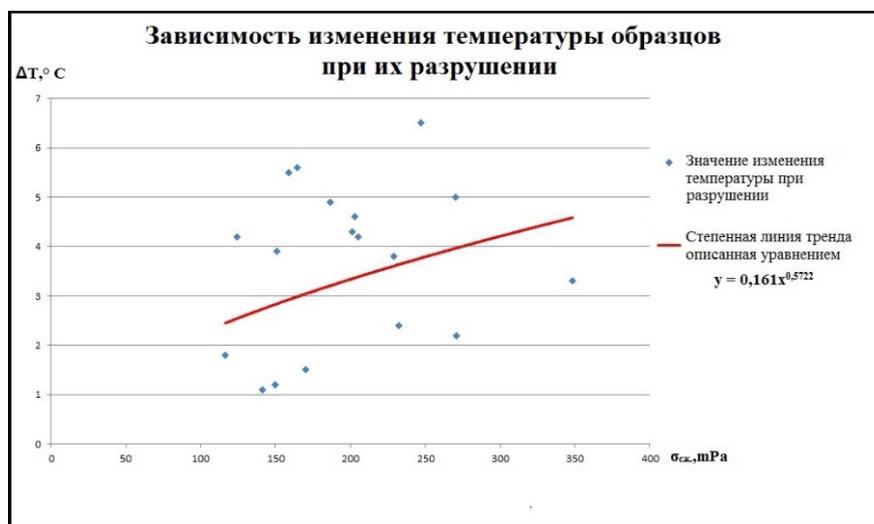


Рис. 6. Аппроксимированный график зависимости изменения температуры от предела прочности на сжатие

Изменение температуры наблюдалось в виде моментального нагрева по поверхности разрушения образцов.

Проведенный эксперимент показал, что существует зависимость величины повышения температуры образца от его предела прочности на сжатие.

Получены результаты зависимости, которые мы можем описать следующей формулой:

$$y = 0,161x^{0,5722} \quad (1)$$

Анализ полученной зависимости показал изменение температуры при разрушении образцов на 1,1 – 6,5 °С, величина напряжения лежит в диапазоне 116 – 348 мПа.

Расчетный коэффициент корреляции составляет $r = 0,2$. Он не превышает критическое значение, из этого следует, что для подтверждения теории необходим более представительный объем статистических данных.

Выводы

Проведенные исследования измерения температурного режима образцов показали, что существует определенная взаимосвязь изменения температуры горных пород и их напряженного состояния, что указывает на перспективность термографического метода для оценки состояния горного массива. Для получения закономерностей и количественных значений, отражающих эту взаимосвязь, требуются дополнительные исследования, в том числе в натуральных условиях.

Метод термографии может быть использован как бесконтактный метод оперативной оценки напряженного состояния локальных участков горных выработок путем анализа результатов измерений температуры приконтурных участков при помощи регистрации тепловизионной установкой изменения температуры горной породы, что вызвано повышением влияния горного давления на массив.

Термографический метод возможно применять и как самостоятельный метод оценки состояния выработок, и в составе комплексного мониторинга с применением систем и приборов, основанных на сейсмоакустическом и деформационном методах.

Список литературы

1. Rasskazov M., Rasskazova A., Potaphuk M., Tereshkin A., 2020. Geomechanical substantiation of measures of safety in the process of development of the Southern Hingansk deposit. *Rock Mechanics for Natural Resources and Infrastructure Development - Full Papers: Proceedings of the 14th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM 2019), September 13-18, 2019, Foz do Iguassu, Brazil*. London: Taylor & Francis Group, pp. 793 – 799.
2. Рассказов И.Ю., Потапчук М.И., Курсакин Г.А., Болотин Ю.И., Сидляр А.В., Рассказов М.И., 2012. Прогнозная оценка удароопасности массива горных пород при отработке глубоких горизонтов Николаевского месторождения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 4, С. 96 - 102.
3. Рассказов И.Ю., Курсакин Г.А., Потапчук М.И., Рассказов М.И., 2012. Геомеханическая оценка технологических решений при проектировании горных работ в удароопасных условиях. *Записки Горного института*, Т. 198, С. 80 - 85.
4. Потапчук М.И., Терёшкин А.А., Рассказов М.И., 2016. Моделирование геомеханических процессов при отработке сложноструктурной рудной залежи Николаевского месторождения. *Маркшейдерия и недропользование*, № 2 (82), С. 23 - 31.
5. Потапчук М.И., Терешкин А.А., Рассказов М.И., 2015. Оценка геомеханического состояния массива горных пород при отработке сложноструктурных рудных тел системой поэтажных штреков с управляемым обрушением кровли. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 12, С. 39 - 45.
6. Саксин Б.Г., Мирзеханов Г.С., Рассказов М.И., Усиков В.И., Цой Д.И., 2015. Инженерно-геологическая оценка скального основания Нижне-бурейской ГЭС. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № S2, С. 3 - 12.
7. Потапчук М.И., Рассказов И.Ю., Потапчук Г.М., Сидляр А.В., Рассказов М.И., 2011. Прогнозная оценка геодинамической опасности при отработке глубоких горизонтов Николаевского месторождения. *Проблемы комплексного освоения георесурсов: материалы IV Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых (Хабаровск, 27-29 сент. 2011 г.)*. В 2-х т. Хабаровск: ИГД ДВО РАН, Т. 1, С. 110-117.
8. Rasskazov, M. Gladyr A., Tereshkin A., Rasskazova A., Tsoy D., Konstantinov A., 2019. The research of burst hazard of the rocks massif of Rasvumchorr mineral deposit according to seismoacoustic monitoring E3S Web of Conferences, 129, 01022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912901022>.
9. Рассказов М.И., Гладырь А.В., Терешкин А.А., Цой Д.И., 2019. Сейсмоакустическая система контроля горного давления на подземном руднике «МИР». *Проблемы недропользования*, №2 (21), С. 56–61. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.056
10. I.Yu. Rasskazov, V.A. Lugovoy, G.A. Kalinov, A.V. Gladyr, P.A. Anikin, M.I. Rasskazov and D.I. Tsoj, 2013. Development of measuring complexes for the assessment and control of burst-hazard during mining. *Proceedings of the 8-th International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines (Russia, Saint-Petersburg – Moscow. 1-7 September 2013)*. Obninsk Perm, P. 121 - 124.
11. Гладырь А.В., Курсакин Г.А., Рассказов М.И., Константинов А.В., 2019. Разработка метода выделения опасных участков в массиве горных пород по данным сейсмоакустических наблюдений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 8, С. 21 - 32.
12. Chen XJ, Li, LY, Wang, L, Qi, LL, 2019. The current situation and prevention and control countermeasures for typical dynamic disasters in kilometer-deep mines in China. *Safety Science*, Vol. 115, Pp. 229 – 236 DOI: 10.1016/j.ssci.2019.02.010.

13. Rasskazov M., Tereshkin A., Tsoi D., Miroshnikov A.V., Bagautdinov I., Kozhogulov K., Konstantinov K., 2020. Research of the formation of zones of stress concentration and dynamic manifestations based on seismoacoustic monitoring data in the fields of the Kola Peninsula. *E3S Web of Conferences*, С. 01009 URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019201009>.
14. Цой Д.И., Рассказов М.И., Гладырь А.В., Терешкин А.А., Константинов А.В., 2019. Исследование влияния длиннопериодных деформационных волн на геоакустическую активность горного массива. *Проблемы недропользования*, №4 (23), С. 66 - 73. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.04.066
15. Гладырь А.В., Корчак П.А., Стрешнев А.А., Рассказов М.И., Терешкин А.А., 2019. Установка автоматизированной системы контроля горного давления «PROGNOZ ADS» на опытном участке Объединённого Кировского рудника АО «АПАТИТ». *Маркшейдерия и недропользование*, № 4 (102), С. 52-56.
16. Терешкин А.А., Мигунов Д.С., Аникин П.А., Гладырь А.В., Рассказов М.И., 2017. Оценка геомеханического состояния удароопасного массива горных пород по данным локального геоакустического контроля. *Проблемы недропользования*, С. 72 - 80. DOI: 10.18454/2313-1586.2017.01.072
17. Rozanov A.O., Petrov D.N., Rozenbaum A.M., Ilinov M.D., Tereshkin A.A., 2018. Acoustic emission precursor criteria of rock damage. *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses. SET OF 2 VOLUMES*, С. 669-672.
18. Рассказов М.И., Терешкин А.А., Цой Д.И., 2019. Оценка напряжённого состояния массива месторождения «Пионер» на основе акустико-эмиссионного эффекта памяти горных пород. *Проблемы недропользования*, № 2 (21), С. 62 - 67. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.062
19. Константинов А.В., Гладырь А.В., Ломов М.А., 2019. Разработка алгоритма автоматической идентификации сейсмоакустических сигналов средствами локального мониторинга. *Проблемы недропользования*, № 2 (21), С. 43 - 51. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.043
20. Ломов М.А., Константинов А.В., Терешкин А.А., 2019. Перспективные методы оценки и контроля геомеханического состояния массивов пород. *Проблемы недропользования*, № 4 (23), С. 83 – 90. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.04.083
21. Ломов М.А., Гладырь А.В., 2020. Графическое представление результатов сейсмоакустического мониторинга на Расвумчоррском и Объединённом Кировском рудниках. *Проблемы недропользования*, № 2 (25), С. 154 - 159. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.154
22. Прошкин С.С., Лобко К.К., 2018. Некоторые особенности измерения температуры с помощью тепловизора. *Сборник научных трудов по материалам XVI международной научной конференции*, С. 14 - 16.
23. Киряева Т.А., Ковчавцев А.П., 2013. Геоинформационные технологии в управлении безопасностью ведения горных работ. *Сиббезопасность-Спасиб*, № 1, С. 86 - 92.
24. Распопин Д.В., 2020. Использование тепловизоров в угольных шахтах. *Россия молодая: Сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием*. Кемерово, С. 10802.1 - 10802.3.
25. Беспалько А.А. Физические основы и реализация метода электромагнитной эмиссии для мониторинга и краткосрочного прогноза изменений напряженно-деформированного состояния горных пород: Автореферат дис. ... доктора техн. наук. Томск: Нац. исслед. Том. политехн., ин-т, 2019.
26. Рассказов И.Ю., Курсакин Г.А., Потапчук М.И., Мирошников В.И., Фрейдин А.М., Осадчий С.П., 2012. Геомеханическая оценка условий разработки глубоких горизонтов полиметаллического месторождения «Южное». *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, № 5, С. 125 - 134.

27. Прохоров К.В., Гладырь А.В., Рассказов М.И., 2020. Центр коллективного пользования «Центр исследования минерального сырья». *Горная промышленность*, №4, С. 120 – 126.

28. Рассказов М.И., Потапчук М.И., Цой Д.И., Терешкин А.А., Гладырь А.В., 2020. Изучение горно-геологических особенностей и определение физико-механических свойств горных пород золоторудного месторождения «Делькен». *Проблемы недропользования*, № 2, С. 116 – 126. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.116

29. Середин В.В., Хрулев А.С., 2016. Изменения температуры образцов горных пород и геоматериалов при их разрушении. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, № 4, С. 63 - 69.

References

1. Rasskazov M., Rasskazova A., Potapchuk M., Tereshkin A., 2020. Geomechanical substantiation of measures of safety in the process of development of the Southern Hingansk deposit. *Rock Mechanics for Natural Resources and Infrastructure Development - Full Papers: Proceedings of the 14th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM 2019), September 13-18, 2019, Foz do Iguassu, Brazil*. London: Taylor & Francis Group, pp. 793 – 799.

2. Rasskazov I.Yu., Potapchuk M.I., Kursakin G.A., Bolotin Yu.I., Sidlyar A.V., Rasskazov M.I., 2012. *Prognoznaya otsenka udaropasnosti massiva gornykh porod pri otrabotke glubokikh gorizontov Nikolaevskogo mestorozhdeniya* [Predictive assessment of the impact hazard of the rock mass during the development of the deep horizons of the Nikolaevsky field]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 4, P. 96 - 102.

3. Rasskazov I.Yu., Kursakin G.A., Potapchuk M.I., Rasskazov M.I., 2012. *Geomekhanicheskaya otsenka tekhnologicheskikh reshenii pri proektirovanii gornykh rabot v udaropasnykh usloviyakh* [Geomechanical evaluation of technological solutions when designing of mining operations in impact-prone conditions]. *Zapiski Gornogo instituta*, Vol. 198, P. 80 - 85.

4. Potapchuk M.I., Tereshkin A.A., Rasskazov M.I., 2016. *Modelirovanie geomekhanicheskikh protsessov pri otrabotke slozhnostrukturnoi rudnoi zalezhi Nikolaevskogo mestorozhdeniya* [Modeling of geomechanical processes in the development of the complex-structured ore deposit of the Nikolaevsky field]. *Marksheideriya i nedropol'zovanie*, № 2 (82), P. 23 - 31.

5. Potapchuk M.I., Tereshkin A.A., Rasskazov M.I., 2015. *Otsenka geomekhanicheskogo sostoianiya massiva gornykh porod pri otrabotke slozhnostrukturnykh rudnykh tel sistemoi podetazhnykh shtrekov s upravlyaemym obrusheniem krovli* [Evaluation of the geomechanical state of rock mass during the mining of complex-structural ore bodies by the system of sub-level drifts with controlled roof collapse]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 12, P. 39 - 45.

6. Saksin B.G., Mirzekhanov G.S., Rasskazov M.I., Usikov V.I., Tsoi D.I., 2015. *Inzhenerno-geologicheskaya otsenka skal'nogo osnovaniya Nizhne-Bureiskoi GES* [Engineering and geological assessment of the rock base of the Nizhne-Bureyskaya HPP]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № S2, P. 3 - 12.

7. Potapchuk M.I., Rasskazov I.Yu., Potapchuk G.M., Sidlyar A.V., Rasskazov M.I., 2011. *Prognoznaya otsenka geodinamicheskoi opasnosti pri otrabotke glubokikh gorizontov Nikolaevskogo mestorozhdeniya* [Predictive evaluation of geodynamic hazard on deep horizons of the Nikolaevsky field]. *Problemy kompleksnogo osvoeniya georesursov: materialy IV Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s uchastiem inostrannykh uchenykh (Khabarovsk, 27-29 sent. 2011 g.)*. V 2-kh t. Khabarovsk: IGD DVO RAN, Vol. 1, P. 110-117.

8. Rasskazov, M. Gladyr A., Tereshkin A., Rasskazova A., Tsoy D., Konstantinov A., 2019. The research of burst hazard of the rocks massif of Rasvumchorr mineral deposit ac-

ording to seismoacoustic monitoring E3S Web of Conferences, 129, 01022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912901022>.

9. Rasskazov M.I., Gladyr' A.V., Tereshkin A.A., Tsoi D.I., 2019. *Seismoakusticheskaya sistema kontrolya gornogo davleniya na podzemnom rudnike "MIR"* [Seismic-acoustic system for monitoring the rock pressure at the underground mine "MIR"]. *Problemy nedropol'zovaniya*, №2 (21), P. 56–61. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.056

10. I.Yu. Rasskazov, V.A. Lugovoy, G.A. Kalinov, A.V. Gladyr, P.A. Anikin, M.I. Rasskazov and D.I. Tsoj, 2013. Development of measuring complexes for the assessment and control of burst-hazard during mining. *Proceedings of the 8-th International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines (Russia, Saint-Petersburg – Moscow. 1-7 September 2013)*. Obninsk Perm, P. 121 - 124.

11. Gladyr' A.V., Kursakin G.A., Rasskazov M.I., Konstantinov A.V., 2019. *Razrabotka metoda vydeleniya opasnykh uchastkov v massive gornykh porod po dannym seismoakusticheskikh nablyudenii* [Development of a method for identifying hazardous areas in a mountain range based on seismic and acoustic observations]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 8, P. 21 - 32.

12. Chen XJ, Li, LY, Wang, L, Qi, LL, 2019. The current situation and prevention and control countermeasures for typical dynamic disasters in kilometer-deep mines in China. *Safety Science*, Vol. 115, Pp. 229 – 236 DOI: 10.1016/j.ssci.2019.02.010.

13. Rasskazov M., Tereshkin A., Tsoi D., Miroshnikov A.V., Bagautdinov I., Kozhogulov K., Konstantinov K., 2020. Research of the formation of zones of stress concentration and dynamic manifestations based on seismoacoustic monitoring data in the fields of the Kola Peninsula. *E3S Web of Conferences*, C. 01009 URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019201009>.

14. Tsoi D.I., Rasskazov M.I., Gladyr' A.V., Tereshkin A.A., Konstantinov A.V., 2019. *Issledovanie vliyaniya dlinnoperiodnykh deformatsionnykh voln na geoakusticheskuyu aktivnost' gornogo massiva* [Study of the influence of long-period deformation waves on the geo-acoustic activity of a mountain massif]. *Problemy nedropol'zovaniya*, №4 (23), P.66 - 73. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.04.066

15. Gladyr' A.V., Korchak P.A., Streshnev A.A., Rasskazov M.I., Tereshkin A.A., 2019. *Ustanovka avtomatizirovannoi sistemy kontrolya gornogo davleniya "PROGNOZ ADS" na opytном uchastke Ob"edinennogo Kirovskogo rudnika AO "APATIT"* [Installation of the automated mining pressure monitoring system "PROGNOZ ADS" at the pilot site of the United Kirov Mine of AO "APATIT"]. *Marksheideriya i nedropol'zovanie*, № 4 (102), P. 52-56.

16. Tereshkin A.A., Migunov D.S., Anikin P.A, Gladyr' A.V., Rasskazov M.I., 2017. *Otsenka geomekhanicheskogo sostoyaniya udaropasnogo massiva gornykh porod po dannym lokal'nogo geoakusticheskogo kontrolya* [Estimation of the geomechanical state of an impact-prone rock mass according to local geo-acoustic control data]. *Problemy nedropol'zovaniya*, P. 72 - 80. DOI: 10.18454/2313-1586.2017.01.072/

17. Rozanov A.O., Petrov D.N., Rozenbaum A.M., Ilinov M.D., Tereshkin A.A., 2018. Acoustic emission precursor criteria of rock damage. *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses. SET OF 2 VOLUMES*, C. 669-672.

18. Rasskazov M.I., Tereshkin A.A., Tsoi D.I., 2019. *Otsenka napryazhennogo sostoyaniya massiva mestorozhdeniya "Pioner" na osnove akustiko-emissionnogo effekta pamyati gornykh porod* [Assessment of the stress state of the "Pioneer" field massif based on the acoustic-emission effect of rock memory]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 2 (21), P. 62 - 67. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.062.

19. Konstantinov A.V., Gladyr' A.V., Lomov M.A., 2019. *Razrabotka algoritma avtomaticheskoi identifikatsii seismoakusticheskikh signalov sredstvami lokal'nogo monitoringa* [Development of an algorithm for automatic identification of seismic-and-acoustic signals by

means of local monitoring]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 2 (21), P. 43 - 51. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.043

20. Lomov M.A., Konstantinov A.V., Tereshkin A.A., 2019. *Perspektivnye metody otsenki i kontrolya geomekhanicheskogo sostoyaniya massivov porod* [Prospective methods for estimating and monitoring the geo-mechanical state of rock massifs]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4 (23), P. 83 – 90. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.04.083

21. Lomov M.A., Gladyr' A.V., 2020. *Graficheskoe predstavlenie rezul'tatov seismoakusticheskogo monitoringa na Rasvumchorrskom i Ob'edinennom Kirovskom rudnikakh* [Graphical representation of the results of seismic and acoustic monitoring at the Rasvumchorrsky and United Kirovsky mines]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 2 (25), P. 154 - 159. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.154

22. Proshkin S.S., Lobko K.K., 2018. *Nekotorye osobennosti izmereniya temperatury s pomoshch'yu teplovizora* [Some features of temperature measurement using a thermal imager]. *Sbornik nauchnykh trudov po materialam XVI mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*, P. 14 - 16.

23. Kiryaeva T.A., Kovchavtsev A.P., 2013. *Geoinformatsionnye tekhnologii v upravlenii bezopasnost'yu vedeniya gornykh rabot* [Geoinformation technologies in safety management of mining operations]. *Sibbezopasnost'-Spasib*, № 1, P. 86 - 92.

24. Raspopin D.V., 2020. *Ispol'zovanie teplovizorov v ugol'nykh shakhtakh* [Use of thermal imagers in coal mines]. *Rossiya molodaya: Sbornik materialov XII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem*. Kemerovo, P. 10802.1 - 10802.3.

25. Bespalko A.A. *Fizicheskie osnovy i realizatsiya metoda elektromagnitnoi emissii dlya monitoringa i kratkosrochnogo prognoza izmenenii napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gornykh porod* [Physical bases and implementation of the electromagnetic emission method for monitoring and short-term forecasting of changes in the stress-strain state of rocks]: Avtoreferat dis. ... doktora tekhn. nauk . Tomsk: Nats. issled. Tom. politekhn., in-t, 2019.

26. Rasskazov I.Yu., Kursakin G.A., Potapchuk M.I., Miroshnikov V.I., Freidin A.M., Osadchii S.P., 2012. *Geomekhanicheskaya otsenka uslovii razrabotki glubokikh gorizontov polimetallicheskogo mestorozhdeniya "Yuzhnoe"* [Geomechanical assessment of the conditions for development of deep horizons of the Yuzhnoye polymetallic deposit]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, № 5, P. 125 - 134.

27. Prokhorov K.V., Gladyr' A.V., Rasskazov M.I., 2020. *Tsentr kollektivnogo pol'zovaniya "Tsentr issledovaniya mineral'nogo syr'ya"* [The center of collective use "Center of research of mineral raw materials"]. *Gornaya promyshlennost'*, № 4, P. 120 – 126.

28. Rasskazov M.I., Potapchuk M.I., Tsoi D.I., Tereshkin A.A., Gladyr' A.V., 2020. *Izuchenie gorno-geologicheskikh osobennostei i opredelenie fiziko-mekhanicheskikh svoystv gornykh porod zolotorudnogo mestorozhdeniya "Del'ken"* [Study of mining and geological features and determination of physical and mechanical properties of rocks of the Delken gold mine]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 2, P. 116 – 126. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.116

29. Seredin V.V., Khrulev A.S., 2016. *Izmeneniya temperatury obraztsov gornykh porod i geomaterialov pri ikh razrushenii* [Changes in the temperature of rock samples and geomaterials during their destruction]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, № 4, P. 63 - 69.