

ТЕРМОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ

А. А. Терёшкин¹, М. И. Рассказов¹, Д. И. Цой¹,
А. В. Константинов¹, П. А. Аникин¹

¹ Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Хабаровск, Россия

Аннотация: При разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом производственники часто сталкиваются с проблемой повышенного горного давления, которое может быть обусловлено влиянием толщи выше залегающих пород, а также региональными и местными тектоническими проявлениями. Горное давление обычно может возникать 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 «Лугинское», Забайкальский край. Измерения проводились при достижении предела прочности на одноосное сжатие. По результатам измерений у 30% испытуемых 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, который позволяет оперативно оценить напряженное состояние локальных участков горных выработок путем анализа результатов измерений температуры приконтурных участков. Измерения проводятся при помощи тепловизионной установки, которая регистрирует изменения температуры горной породы, вызванные влиянием горного давления на массив.

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

Благодарности: Исследования проведены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных ДВО РАН», финансируемого Российской Федерацией в лице Минобрнауки России по соглашению № 075–15–2021–663.

Для цитирования: Терёшкин А. А., Рассказов М. И., Цой Д. И., Константинов А. В., Аникин П. А. Термографические исследования образцов горных пород в условиях динамического разрушения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12–1. – С. 204–212. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_204.

Thermographic study of rock samples in dynamic fracture

A. A. Tereshkin, M. I. Rasskazov, D. I. Tsoi, A. V. Konstantinov, P. A. Anikin

¹ Mining Institute of the Far Eastern branch of Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia

Abstract: Underground mineral mining is often faced with the problems connected with an increase on overburden pressure either because of thickness of overlying rock strata, or due to regional and local tectonics. However, the increase in the overburden pressure can be induced by the incorrect mining system. There are many different geomechanical and geophysical methods for monitoring high overburden pressure zones to date in the modern world. This paper describes the temperature tests of rock samples from Luginskoe deposit in Transbaikalia. The temperature was measured after the samples reached the ultimate uniaxial compression strength. From the test results, the temperature change at the ultimate compression strength was observed in 30 % of the samples. The temperature measurement tests show that there is a certain correlation between the temperature and stress state of rocks, which implies potential usability of thermography for studying rock mass condition. The method of thermography can be used for the noncontact real-time local stress estimate in underground mines by means of recording temperature changes induced by overburden pressure using a thermal imager.

Key words: overburden pressure, rockburst prediction, thermography, infrared radiation, thermal imager, limit strength.

Acknowledgements: The studies were carried out using the resources of the Center for Shared Use of Scientific Equipment “Center for Processing and Storage of Scientific Data of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences”, funded by the Russian Federation represented by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under project No. 075–15–2021–663.

For citation: Tereshkin A. A., Rasskazov M. I., Tsoi D. I., Konstantinov A. V., Anikin P. A. Thermographic study of rock samples in dynamic fracture. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(12–1):204–212. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_204.

Введение

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

В современном мире существует ряд различных геофизических и геомеханических методов для мониторинга зон

повышенного горного давления [2–5]. Базовым считается метод дискования керна, основанный 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 метод. 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.

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

Теоретическая часть

При нагружении горных пород вокруг дефектов возникают концентрации напряжений, которые вызывают рост и распространение трещин. С физической точки зрения внешние нагрузки на горную породу проявляются в ней в виде акустической эмиссии и электромагнитных излучений, в том числе и инфракрасных. Экспериментально установлено, что в условиях одноосного растяжения образцов геоматериалов наблюдаются минимальные значения температуры, в условиях одноосного сжатия температура увеличивается, а в объемном напряженном состоянии принимает максимальные значения.

Исследования в области изменения температуры образцов горных пород и геоматериалов при их разрушении показывают, что разрушение протекает в два этапа: первоначально формируется магистральная трещина разрыва, затем происходит сдвиг гор-

ной породы по этой трещине. В зависимости от приложенных напряжений в зоне разрушения протекают процессы микродеформирования между структурными отдельностями [7], формируется определенная морфология поверхности трещин [6], появляется песок трения, материал изменяет свое фазовое состояние, меняется минеральный состав материнской породы, появляются новые минералы [8, 9]. С физической точки зрения внешние напряжения (нагрузки) на горную породу проявляются в ней в виде акустических эмиссий [10, 11], электромагнитных излучений [12], в том числе и инфракрасных [13].

Объект и методика измерений

Для исследования температурного режима были подготовлены 90 образцов керна вмещающих пород, отобранных на месторождении «Лугиинское», Забайкальский край, Газимуро-Заводский район. Измерения проводились параллельно с испытаниями образцов на предел прочности одноосного сжатия, рис. 1, а. Для проведения испытаний использовался пресс фирмы ToniPACT II, рис. 1, б [14].

а



б



Рис. 1. Материалы и оборудование: а — образцы испытываемых горных пород; б — размещение образца между плитами испытательной машины ToniPACT II

Fig. 1. a — samples of the tested rocks, b — placing the sample between the plates of the ToniPACT II testing machine

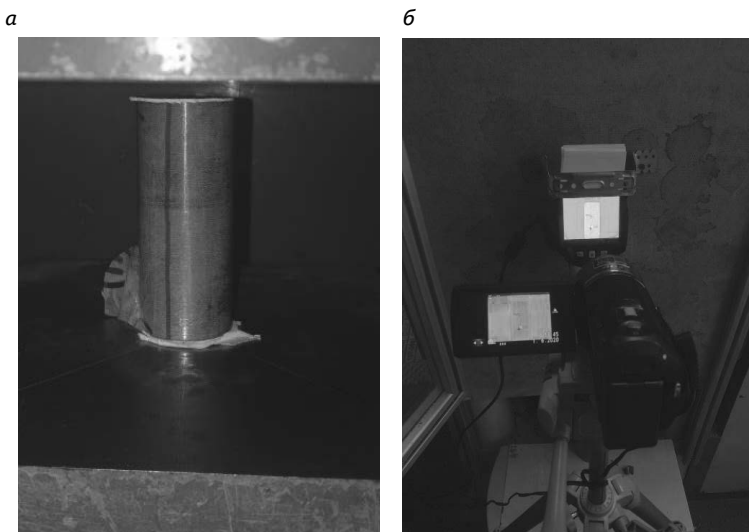


Рис. 2. Процесс исследования: а) термографическое измерение поведения образцов алевролита при помощи тепловизора; б) непрерывная видеосъемка результатов термографического наблюдения

Fig. 2. Thermographic measurement of the behavior of siltstone samples using a thermal imager

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 5 МПа/с до разрушения.

Измерения температурного режима образцов проводились при помощи тепловизора Testo № 865, технические характеристики которого позволяют измерить температуру тела до 0,1 °С с частотой 9 Гц, рис. 2, а. Также в процессе измерений велась непрерывная видеосъемка результатов термографического наблюдения испытываемых образцов, рис. 2, б.

Результаты измерений

По результатам измерений у 30% испытываемых 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. 1 приведены результаты замеров образцов с повышением температуры их поверхности при разрушении более чем на 1,0 °С. [15–18] Основными параметрами в таблице являются предел прочности на сжатие $\sigma_{сж.}$, МПа и изменение температуры ΔT , °С.

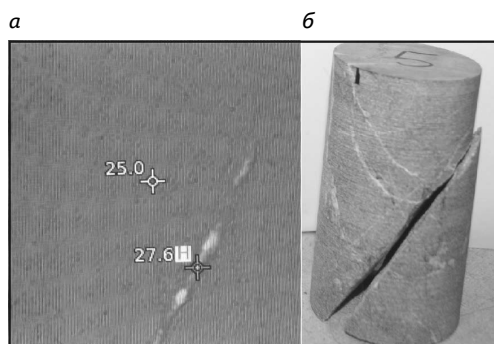


Рис. 3. Результат измерений: а) тепловой снимок образца 5–501(11) в момент разрушения; б) фото образца после разрушения

Figure 3. a – Thermal snapshot of sample 5–501 (11) at the moment of destruction. b – sample after destruction

Таблица 1

Результаты тепловизионных измерений образцов горных пород месторождения «Луѓиинское»

Results of thermal imaging measurements of rock samples from the Lugiinskoye deposit

№ образца	Идентификатор образца	F, kN	$\sigma_{сж.г}$ mPa	$T_{нач.г}$ °C	$T_{разр.г}$ °C	$\Delta T, °C$
1	2–508(45)	277,49	89,58	23,8	26,6	2,8
2	3–508(23)	474,42	152,19	24,3	26,6	2,3
3	5–501(11)	388,01	124,87	25,0	27,6	2,6
4	5–506(14)	336,08	107,13	24,5	26,5	2
5	6–505(22)	397,52	127,52	24,8	26,3	1,5
6	6–507(7)	233,26	76,26	25,0	26,1	1,1
7	6–507(50)	155,82	49,67	24,8	26,4	1,6
8	6–507(52)	487,33	155,34	25,4	29,6	4,2
9	7–505(31)	604,93	194,68	21,5	24,3	2,8
10	7–507(41)	600,75	192,72	22,3	26,4	4,1
11	8–501(29)	587,14	187,16	22,2	26,7	4,5
12	8–505(14)	305,10	97,87	22,0	23,5	1,5
13	8–508(29)	198,19	63,78	23,1	25,7	2,6
14	9–501(14)	160,88	51,61	22,1	23,5	1,4
15	9–501(34)	247,05	79,25	22,6	24,0	1,4
16	9–505(4)	301,89	97,15	22,8	24,4	1,6
17	9–505(5)	344,54	110,53	22,6	23,8	1,2
18	9–505(6)	373,45	120,57	23,0	25,2	2,2
19	9–505(7)	430,28	138,47	23,1	26,0	2,9
21	9–505(9)	274,85	88,73	22,4	23,7	1,3
20	10–507(21)	245,68	78,31	22,6	25,5	2,9
21	10–508(42)	497,24	159,51	23,8	27,0	3,2
22	11–507(34)	217,15	69,00	23,8	25,2	1,4
23	12–507(45)	271,96	86,15	23,8	25,9	2,1
24	12–507(48)	262,18	83,58	23,4	25,3	1,9

На рис. 3 изображен результат измерений в графическом виде.

Режим работы тепловизора был настроен таким образом, чтобы в процессе измерений на мониторе отображать температуру центральной точки, а также точку с максимальной температурой [19–21].

Разница температур в зависимости от предела прочности образцов лежит в диапазоне от 1,0 до 4,5 °C. Соответственно, предел прочности на одноос-

ное сжатие лежит в диапазоне 49,67–194,68 mPa.

По результатам измерений построен и аппроксимирован график зависимости значения ΔT от $\sigma_{сж.г}$, рис. 4.

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

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

Функцию аппроксимации результатов измерения изменения температуры на поверхности образца в условиях нагружения можно описать формулой (1):

$$y = 0,0167x + 0,376. \quad (1)$$

Коэффициент детерминации для полученной линейной зависимости $R^2 = 0,509$, что соответствует модели приемлемого качества.

Анализ полученной зависимости показал изменение температуры при разрушении образцов на $1,0 - 4,5^\circ\text{C}$, величина напряжения лежит в диапазоне $49,67 - 194,68 \text{ мПа}$.

Выводы

Проведенные исследования измерения температурного режима образцов показали, что существует определенная взаимосвязь изменения температуры горных пород и их напряженного состояния. Это 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, который позволяет оперативно оценить напряженное состояние локальных участков горных выработок путем анализа результатов измерений температуры приконтурных участков. Измерения проводятся при помощи тепловизионной установки, которая регистрирует изменения температуры горной породы, вызванные влиянием горного давления на массив.

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

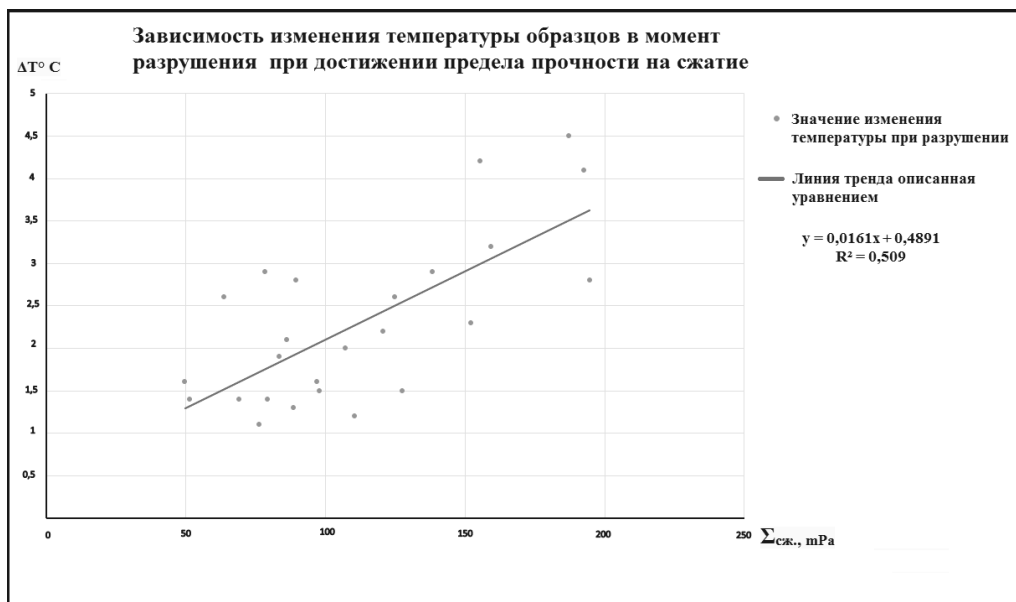


Рис. 4. Аппроксимированный график зависимости изменения температуры от предела прочности на сжатие

Figure 4 — Approximated graph of temperature change versus ultimate compressive strength

Вклад авторов:

Терешкин Андрей Александрович — получение данных для анализа, выполнение работы по систематизации материала, написание текста статьи.

Аникин Павел Александрович — генерация идеи исследования.

Рассказов Максим Игоревич — выполнение работы по систематизации материала.

Цой Денис Игоревич — получение данных для анализа.

Константинов Александр Викторович — получение данных для анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рассказов И. Ю., Курсакин Г. А., Потапчук М. И., Рассказов М. И.* Геомеханическая оценка технологических решений при проектировании горных работ в удароопасных условиях // Записки Горного института. — 2012. — Т 198. — С. 80–85.
2. *Chen XJ, Li, LY, Wang, L, Qi, LL.* The current situation and prevention and control countermeasures for typical dynamic disasters in kilometer-deep mines in China // Safety Science, — 2019, — Vol. 115, — pp. 229–236, DOI: 10.1016/j.ssci.2019.02.010.
3. *Rozanov A. O., Petrov D. N., Rozenbaum A. M., Ilinov M. D., Tereshkin A. A.* Acoustic emission precursor criteria of rock damage // Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses. SET OF 2 VOLUMES. — 2018. — pp. 669–672.
4. *Гладырь А. В., Корчак П. А., Стрешнев А. А., Рассказов М. И., Терешкин А. А.* Установка автоматизированной системы контроля горного давления «PROGNOZ ADS» на опытном участке Объединённого Кировского рудника АО «АПАТИТ» // Маркшейдерия и недропользование. — 2019. — № 4 (102). — С. 52–56.
5. *Терёшкин А. А., Мигунов Д. С., Аникин П.А., Гладырь А. В., Рассказов М. И.* Оценка геомеханического состояния удароопасного массива горных пород по данным локального геоакустического контроля // Проблемы недропользования. — 2017. — № 1. — С. 72–80.
6. *Середин В. В., Лейбович Л. О., Пушкарева М. В., Копылов И. С., Хрулев А. С.* К вопросу о формировании морфологии поверхности трещины разрушения горных пород // ФТПРПИ. — 2013. — № 3. — С. 85–90.
7. *Опарин В. Н., Усольцева О. М., Семенов В. Н., Цой П. А.* О некоторых особенностях эволюции напряженно-деформированного состояния образцов горных пород со структурой при одноосном нагружении // ФТПРПИ. — 2013. — № 5. — С. 3–19.
8. *Бобряков А. П.* О механизме прерывистого скольжения в сыпучей среде // ФТПРПИ. — 2010. — № 6. — С. 11–16.
9. *Чиков Б. М., Каргаполов С. А., Ушаков Г. Д.* Экспериментальное стресс-преобразование пироксенита // Геология и геофизика. — 1989. — № 6. — С. 75–79.
10. *Вознесенский А. С., Устинов К. Б., Шкуратник В. Л.* Теоретическая модель акустической эмиссии при механическом нагружении горных пород в области максимального уплотнения // Прикл. механика и техн. физика. — 2006. — Т. 47. — № 4. — С. 145–152.
11. *Вознесенский А. С., Куткин Я. О., Красилов М. Н.* Взаимосвязь акустической добротности с прочностными свойствами известняков // ФТПРПИ. — 2015. — № 1. — С. 30–39.
12. *Опарин В. Н., Яковицкая Г. Е., Вострецов А. Г., Серяков В. М., Кривецкий А. В.* О коэффициенте механо-электромагнитных преобразований при разрушении образцов горных пород // ФТПРПИ. — 2013. — № 3. — С. 3–20.
13. *Середин В. В.* Исследование температуры пород в зоне трещины разрушения // Фундаментальные исследования. — 2014. — № 9–12. — С. 2713–2717.
14. *Прохоров К. В., Гладырь А. В., Рассказов М. И.* Центр коллективного пользования «Центр исследования минерального сырья» // Горная промышленность. — 2020. — №4. — С.120–126.

15. Прошкин С. С., Лобко К. К. Некоторые особенности измерения температуры с помощью тепловизора // Сборник научных трудов по материалам XVI международной научной конференции. — 2018. — С. 14–16.

16. Киряева Т. А., Ковчавцев А. П. Геоинформационные технологии в управлении безопасностью ведения горных работ // Сиббезопасность-Спасиб. — 2013. — № 1. — С. 86–92.

17. Распопин Д. В. Использование тепловизоров в угольных шахтах // В сборнике: Россия молодая. Сборник материалов XII всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием. Кемерово. — 2020. — С. 10802.1–10802.3.

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

19. Araujo R. G.S., Sousa J. L.A. O., Bloch M. Experimental investigation on the influence of temperature on the mechanical properties of reservoir rocks // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. — 1997. — Т. 34. № 3–4. pp. 459.

20. Kamińska P., Ziemkiewicz J., Synaszko P., Dragan K. Comparison of pulse thermography (pt) and step heating (sh) thermography in non-destructive testing of unidirectional gfrp composites // Fatigue of Aircraft Structures. — 2019. — № 11. pp. 87–102.

21. Holland S. D., Reusser R. S. Material evaluation by infrared thermography // Annual Review of Materials Research. 2016. №. 46. pp. 287–303. **PLAS**

REFERENCES

1. Rasskazov I. YU., Kursakin G. A., Potapchuk M. I., Rasskazov M. I. Geomechanical assessment of technological solutions in the design of mining operations in rockburst hazardous conditions. *Zapiski Gornogo instituta*. 2012. Vol. 198. pp. 80–85. [In Russ]

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

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

4. Gladyr' A. V., Korchak P. A., Streshnev A. A., Rasskazov M. I., Tereshkin A. A. Installation of an automated rock pressure monitoring system "PROGNOZ ADS" at the pilot site of the United Kirovsky mine of JSC "APATIT". *Markshejderiya i nedropol'zovanie*. 2019. no. 4 (102). pp. 52–56. [In Russ]

5. Teryoshkin A. A., Migunov D. S., Anikin P.A, Gladyr' A. V., Rasskazov M. I. Assessment of the geomechanical state of the rock burst hazardous massif according to the data of local geoacoustic control. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2017. no. 1. pp. 72–80. [In Russ]

6. Seredin V. V., Lejbovich L. O., Pushkareva M. V., Kopylov I. S., Hrulev A. S. On the formation of the surface morphology of a crack in the destruction of rocks. *FTRPI*. 2013. no. 3. pp. 85–90. [In Russ]

7. Oparin V. N., Usol'ceva O. M., Semenov V. N., Coj P. A. On some peculiarities of the evolution of the stress-strain state of rock specimens with a structure under uniaxial loading. *FTRPI*. 2013. no. 5. pp. 3–19. [In Russ]

8. Bobryakov A. P. On the Mechanism of Intermittent Sliding in a Loose Environment. *FTRPI*. 2010. no. 6. pp. 11–16. [In Russ]

9. Chikov B. M., Kargaplov S. A., Ushakov G. D. Experimental stress transformation of pyroxenite. *Geologiya i geofizika*. 1989. no. 6. pp. 75–79. [In Russ]

10. Voznesenskij A. S., Ustinov K. B., SHkuratnik V. L. A theoretical model of acoustic emission under mechanical loading of rocks in the area of maximum compaction. *Prikl. mekhanika i tekhn. fizika*. 2006. Vol. 47. no. 4. pp. 145–152. [In Russ]

11. Voznesenskij A. S., Kutkin YA. O., Krasilov M. N. Interrelation of acoustic quality factor with strength properties of limestone. *FTPRPI*. 2015. no. 1. pp. 30–39. [In Russ]
12. Oparin V. N., YAkovickaya G. E., Vostrecov A. G., Seryakov V. M., Kriveckij A. V. On the coefficient of mechano-electromagnetic transformations during the destruction of rock samples. *FTPRPI*. 2013. no. 3. pp. 3–20. [In Russ]
13. Seredin V. V. Study of rock temperature in the fracture zone. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2014. no. 9–12. pp. 2713–2717. [In Russ]
14. Prohorov K. V., Gladyr' A. V., Rasskazov M. I. Shared Use Center “Mineral Resources Research Center”. *Gornaya promyshlennost'*. 2020. no. 4. pp. 120–126. [In Russ]
15. Proshkin S. S., Lobko K. K. *Nekotorye osobennosti izmereniya temperatury s pomoshch'yu teplovizora* [Some features of temperature measurement using a thermal imager]. Sbornik nauchnyh trudov po materialam XVI mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. 2018. pp. 14–16. [In Russ]
16. Kiryaeva T. A., Kovchavcev A. P. Geoinformation technologies in safety management of mining operations. *Sibbezopasnost'-Spasib*. 2013. no. 1. pp. 86–92. [In Russ]
17. Raspopin D. V. *Ispol'zovanie teplovizorov v ugol'nyh shahtah. V sbornike: Rossiya molodaya* [Use of thermal imagers in coal mines. In the collection: Young Russia]. Sbornik materialov XII vserossijskoj, nauchno-prakticheskoj konferencii molodyh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem. Kemerovo. 2020. pp. 10802.1–10802.3. [In Russ]
18. Seredin V. V., Hrulev A. S. Changes in the temperature of samples of rocks and geomaterials during their destruction. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh*. 2016. no. 4. pp. 63–69. [In Russ]
19. Araujo R. G.S., Sousa J. L.A. O., Bloch M. Experimental investigation on the influence of temperature on the mechanical properties of reservoir rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 1997. Vol. 34. no. 3–4. pp. 459.
20. Kamińska P., Ziemkiewicz J., Synaszko P., Dragan K. Comparison of pulse thermography (pt) and step heating (sh) thermography in non-destructive testing of unidirectional gfrp composites. *Fatigue of Aircraft Structures*. 2019. no. 11. pp. 87–102.
21. Holland S. D., Reusser R. S. Material evaluation by infrared thermography. *Annual Review of Materials Research*. 2016. no. 46. pp. 287–303.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Терешкин Андрей Александрович¹ — науч. сотр., andrey.tereshkin@bk.ru;

Рассказов Максим Игоревич¹ — науч. сотр., rasm.max@mail.ru;

Цой Денис Игоревич¹ — науч. сотр., denis.tsoi@mail.ru;

Константинов Александр Викторович¹ — науч. сотр., alex-sdt@yandex.ru;

Аникин Павел Александрович¹ — канд. техн. наук, вед. науч. сотр., pav.anik@mail.ru;

¹ Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tereshkin A. A.¹, researcher;

Rasskazov M. I., researcher;

Tsoi D. I.¹, researcher,

Konstantinov A. V.¹, researcher,

Anikin P. A.¹, Cand. Sci. (Eng.), leading researcher,

¹ Mining Institute of the Far Eastern branch of Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia.

Получена редакцией 18.07.2021; получена после рецензии 22.10.2021; принята к печати 10.11.2021.

Received by the editors 18.07.2021; received after the review 22.10.2021; accepted for printing 10.11.2021.