

ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В ОБРАЗЦАХ ИЗВЕСТНЯКА ПО ХАРАКТЕРУ ИХ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО ОТКЛИКА НА ЛОКАЛЬНОЕ ТЕРМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Р. Ошкин

НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: oshkin93@mail.ru

Аннотация: Изложены результаты экспериментальных исследований взаимосвязей между параметрами акустической эмиссии, стимулированной в известняке сериями локальных термических воздействий, с одной стороны, и изменением приложенной к нему ступенчато возрастающей квазистатической механической нагрузки — с другой. Рассмотрены конструкция и состав аппаратуры лабораторной установки для проведения указанных исследований. Представлено теоретическое обоснование установленных закономерностей изменения параметров термически стимулированной акустической эмиссии (ТАЭ) в функции от развития напряженного состояния горной породы. Для численной оценки указанных закономерностей предложен набор акустико-эмиссионных показателей. Информативность данных показателей подтверждена сходимостью результатов представительного числа испытаний, термомеханическое нагружение в каждом из которых выполнялось вплоть до разрушения образца. Приводится краткий анализ механизмов формирования акустической эмиссии при термомеханическом нагружении скальных горных пород. Дана авторская интерпретация физического смысла использованных в работе параметров акустической эмиссии. Разработаны методические подходы к обработке полученной в экспериментах первичной измерительной информации. Полученные результаты создают предпосылки к адаптации метода ТАЭ для мониторингового контроля эволюции напряженно-деформированного состояния горных пород в натуральных условиях.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, термическая стимуляция информативного отклика, квазистатическое механическое нагружение, напряженное состояние, мониторинговый контроль.

Для цитирования: Ошкин Р. Оценка развития напряженно-деформированного состояния в образцах известняка по характеру их акустико-эмиссионного отклика на локальное термическое воздействие // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 11. – С. 118–127. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-118-127.

Estimation of stress and strain development in limestone samples by acoustic emission response to local thermal effect

R. Oshkin

National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia,
e-mail: oshkin93@mail.ru

Abstract: The article presents the experimental studies into interactions between parameters of acoustic emission stimulated in limestone by a series of local thermal effects, on the one side, and the change in the incrementally increasing quasi-static mechanical loading applied to limestone, on the other hand. The design and instrumentation of the appropriate laboratory-scale plant are discussed. The theoretical justification is given to the found variation patterns of thermally stimulated acoustic emission (TAE) as a function of stress state evolution in limestone. For the numerical estimate of the patterns, a set of acoustic emission indicators is proposed. The informativity of the indicators is proved by the agreement of the results obtained in representative number of thermal loading tests to failure of sample. A brief analysis of the acoustic emission mechanisms in hard rocks subjected to thermal loading is given. The author's interpretation is provided for the physical meaning of the acoustic emission indicators used in this study. The technical approaches to processing of the source experimental measurement information are developed. The findings offer a background for adapting the TAE method to in-situ monitoring control of evolution of stresses and strains in rocks.

Key words: acoustic emission, thermal stimulation of informative response, quasi-static mechanical loading, stress state, monitoring control.

For citation: Oshkin R. Estimation of stress and strain development in limestone samples by acoustic emission response to local thermal effect. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(11):118-127. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-118-127.

Введение

В настоящее время наблюдается тенденция исчерпания запасов ряда полезных ископаемых, месторождения которых расположены в относительно простых горно-геологических условиях. Постоянно возрастает глубина и интенсивность подготовительных и добычных горных работ. Все это приводит к возрастанию рисков обвалов, обрушений, горных ударов и других динамических проявлений горного давления. В свою очередь минимизация указанных рисков требует решения комплексной задачи создания научно-обоснованных подходов для раннего выявления предвестников динамической разгрузки зон повышенного давления и оперативной оценки достаточности предпринятых в этих зонах профилактических мероприятий по управлению состоянием массива. Необходимым условием решения данной задачи является наличие надежной и быстрой актуализируемой информации об

эволюции напряженно-деформированного состояния (НДС) геосреды.

Существующие на сегодняшний день методы и методики геоконтроля [1–2], имея известные достоинства, не лишены и недостатков, среди которых можно выделить трудоемкость выполнения измерений и неоднозначность интерпретации их результатов. На практике эти недостатки приводят к снижению информационной эффективности геоконтроля и повышают риски пропуска предвестников опасных геодинамических явлений. В связи с этим актуальной является задача совершенствования существующих и создания новых методов, которые могли бы использоваться как самостоятельно, так и в комплексе с традиционными геологическими, геомеханическими и геофизическими методами контроля НДС. При этом исследования последних лет свидетельствуют о перспективности решения этой и ряда других задач геоконтроля на основе анализа

информативных параметров акустической эмиссии, стимулированной в исследуемом геоматериале термическим воздействием [3, 4].

В связи с изложенным целью настоящей работы является экспериментальное установление и теоретическое обоснование закономерностей изменения параметров термостимулированной акустической эмиссии горных пород как функции развития их напряженно-деформированного состояния. Предполагается, что указанные закономерности в перспективе позволят реализовать соответствующий метод контроля НДС непосредственно в массиве путем температурного нагружения прискважинной области и анализа возникающего при этом акустико-эмиссионного отклика.

Аппаратурное и методическое обеспечение эксперимента

Эксперименты выполнялись на известняках месторождения Сары-Таш, образцы которых имели форму параллелепипеда квадратного поперечного сечения с шлифованными торцами. Сторона основания каждого образца имела размер от 22,0 до 25,6 мм, высота — от 48,8 до 51,3 мм. Во всех случаях соотношение размеров основания и высоты было максимально близко к пропорции 1:2. Все образцы были изготовлены из одного и того же относительно однородного куска породы и прошли предварительное цензурирование на наличие внутренних дефектов ультразвуковым время-импульсным методом с использованием прибора УД2-16. Однородность образцов была также подтверждена визуальным обследованием их внешних поверхностей цифровым портативным микроскопом типа DigiMicro Mobile, которое показало отсутствие значимых поверхностных дефектов.

Для определения прочностных свойств исследуемого известняка четыре его об-

разца были испытаны по ГОСТ 21153.2 на предел прочности при одноосном сжатии ($\sigma_{\text{СК}}$). Получены следующие значения $\sigma_{\text{СК}}$: 27,5 МПа; 30,6 МПа; 20,5 МПа; 28,7 МПа. Образец, показавший $\sigma_{\text{СК}} = 20,5$ МПа, был идентифицирован УЗ методом как подозреваемый на скрытую магистральную трещину. Других образцов с аномальными трещиновидными дефектами не было. С учетом сказанного для определения величины ступеней квазистатического механического нагружения и последующей интерпретации результатов среднее значение $\sigma_{\text{СК}}$ было принято равным 28,9 МПа.

Эксперименты выполнены на лабораторной установке, конструкция и аппаратурное наполнение которой представлены на рис. 1.

Установка выполнена на базе металлического каркаса из направляющих стержней 1, соединенных в верхней и нижней части плитами 2, и фиксируемых стопорными гайками 3. В центральной части нижней металлической плиты 2 расположен преобразователь 4 акустической эмиссии GT-200 в защитном металлическом кожухе 5 цилиндрической формы. Датчик прижимается металлической пластиной 6 к дюралюминиевому волноводу 7. На защитный корпус устанавливается образец горной породы 8. Преобразователь 4 соединяется с преусилителем 9 типа ALP 01, от которого кабель идет к многоканальной модульной системе сбора и обработки акустико-эмиссионной (АЭ) информации A-line 32D (на рис. 1 условно не показана). Испытуемый образец 8 воспринимает одноосную нагрузку от домкрата гидравлического 10 типа ДН10П11, питаемого от ручной гидравлической помпы 11 типа КВТ ПМР 7003. Для контроля за ходом нагружения предусмотрен аналоговый динамометр 12 типа ДС-5, расположенный под домкратом 10. Термическое воздействие создавалось с по-

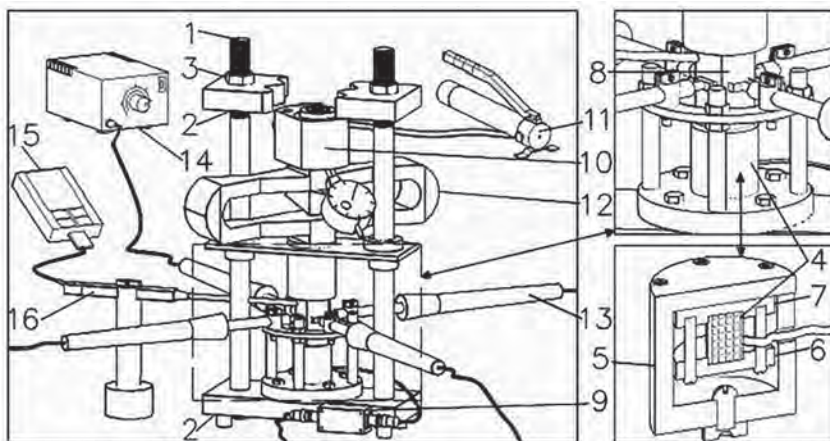


Рис. 1. Внешний вид лабораторной установки для термомеханического нагружения образцов горных пород и регистрации параметров возникающей при этом АЭ

Fig. 1. Physical form of lab-scale plant for thermomechanical loading and stimulated AE recording in rock samples

мощью нагревательных элементов 13 примыкающих к центральной части образца 8 по его четырем свободным граням. Установка параметров теплового потока осуществлялась с помощью термостанции 14 типа Lukey 936A с регулятором температуры или, в зависимости от конструкции нагревательных элементов, посредством регулировки подаваемого на них через ЛАТР электрического напряжения. Контроль температурного режима на поверхности образца 8 и проверка работы нагревательных элементов реализованы с помощью измеритель-регистратора температуры 15 типа АТЕ-9380 с термопарой 16 типа АТА-210.

В ходе испытаний образцы подвергались термомеханическому воздействию. Оно заключалось в последовательном ступенчато возрастающем механическом нагружении до величин 4, 6, 8, 10, 12, 14 кН и быстром прогреве в центральной по высоте части до 180 °С с последующим естественным конвективным остыванием на каждой из ступеней нагружения. Температурное воздейст-

вие производилось после стабилизации всплеска активности АЭ от механического нагружения, что позволяло отделить полезный сигнал от помеховой составляющей. С целью имитации перепадов горного давления перед каждым последующим шагом механического нагружения нагрузка снижалась до половины от величины максимальной нагрузки предыдущего шага.

Обработка и интерпретация результатов экспериментов

Перечень и интерпретация физического смысла использованных параметров АЭ детально изложены в работах [5–6], посвященных исследованию криогенных грунтов и углей. Поэтому остановимся только на отличительных особенностях механизмов генерации ТАЭ в скальных геоматериалах. Основных механизмов здесь можно выделить два.

Первый механизм связан с деструкцией структурных связей геоматериала в самом широком смысле: образование и рост трещин, разрушение стенок пор, деформации минеральных зерен по причине неравномерного расширения вме-

щающей их породы под действием температурного градиента и др.

Второй механизм заключается в переводе структурных связей в напряженное состояние с их последующей релаксацией в исходное состояние после снятия поля температур. В качестве характерного примера здесь можно привести ситуацию, когда одна трещина упирается в стенку другой. При этом развитие первой из этих трещин останавливается до момента, когда в концентраторе напряжений в точке соприкосновения не накопится энергия, достаточная для слияния этих трещин. Другими словами, до момента слияния трещин на этом участке явления деструкции практически отсутствуют, а генерация импульсов АЭ вызвана сопротивлением породы по отношению к росту напряжений (эффект натянутой струны).

Во временной области нестационарного температурного режима (далее — область А), которая наблюдается в начале прогрева образца, преобладает первый из вышеуказанных механизмов. За счет вызванного термическим градиентом неравномерного расширения различных участков геоматериала, трения стенок трещин и разрушения ослабленных предварительным механическим воздействием структурных связей происходит перераспределение и частичная релаксация созданных термическим нагружением напряжений. По мере исчерпания запаса ослабленных связей и стабилизации поля температур, т.е. выхода термических напряжений на стационарный режим (далее — область Б), решающее влияние на характер ТАЭ начинает оказывать механизм перевода структурных связей в напряженное состояние при сохранении их целостности.

Таким образом, сравнивая параметры акустико-эмиссионного отклика в областях А и Б, можно численно оценить соотношение условно «устойчи-

вых» и «склонных к деструкции» под действием определенной нагрузки структурных связей. Как «склонные к деструкции» здесь обозначаются структурные связи, которые после механического нагружения оказались ослаблены и далее под действием относительного небольшого прироста термических напряжений при прогреве породы (область А) окончательно разрушились. Соответственно «устойчивые» — это те связи, которые перешли в напряженное состояние и стали источниками ТАЭ только после длительного термического нагружения (область Б). К моменту следующего цикла нагружения часть таких связей возвращается в исходное состояние и далее снова становится источником ТАЭ в области Б, а другая часть переходит в категорию «склонные к деструкции», пополняя запас источников ТАЭ области А.

Для интерпретации полученных экспериментальных данных использовались следующие параметры: энергия источника ТАЭ — E_{sour} и время нарастания импульса ТАЭ — IRT . Параметр E_{sour} отражает объем акустической энергии, выделенной в месте образования сигнала ТАЭ, тем самым показывая, какие напряжения смогла вобрать в себя ставшая источником ТАЭ структурная связь. Причем под термином «сигнал ТАЭ» следует понимать упругую волну, создаваемую в результате реакции горной породы на действующие в ней термомеханические напряжения, что описывается различного рода параметрами акустической эмиссии, которые фиксируются системой A-line 32D. В свою очередь, параметр IRT показывает, как быстро переводились в напряженное состояние структурные связи под внешним воздействием. При прочих равных условиях, более прочные связи способны излучать сигнал с большим временем нарастания (чем сильнее связь, тем

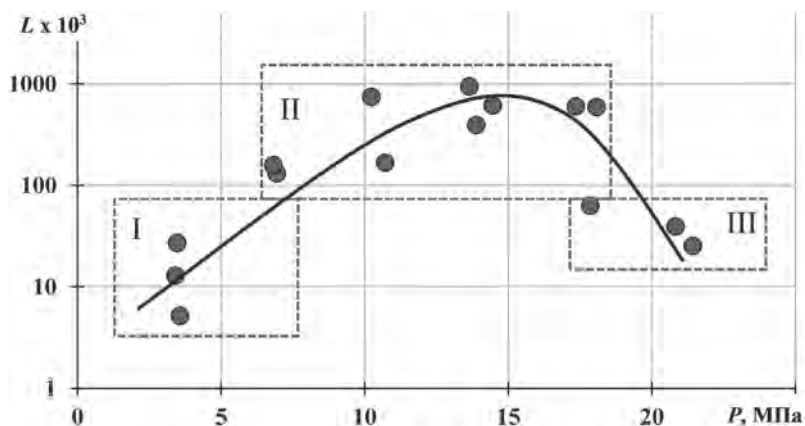


Рис. 2. Зависимость между значениями акустико-эмиссионного показателя L и величинами механических нагрузок P

Fig. 2. Relationship of acoustic emission indicator L and mechanical load P

пропорционально медленнее она переходит в возбужденное состояние). Поэтому показатель IRT позволяет в общем потоке сигналов ТАЭ вычленивать те из них, которые относятся к прочным структурным связям. Очевидно, что последние в гораздо большей степени описывают напряженное состояние в геоматериале.

Таким образом, численный акустико-эмиссионный показатель L развития напряженно-деформированного состояния горной породы следует записать как

$$L = \frac{E_{sour}^B * IRT^B}{E_{sour}^A * IRT^A}$$

где E_{sour}^A , IRT^A и E_{sour}^B , IRT^B — значения E_{sour} , IRT , усредненные по временным областям А и Б соответственно.

Физический смысл показателя L состоит в том, что он отражает меру интенсивности развития деформированного состояния горной породы под действием внешних факторов. При этом термические воздействия во всех опытах были одинаковыми, а тождественность образцов по структуре и свойствам прошла проверку визуально-оптическим и ультразвуковым методами. Единственным переменным фактором

была величина механической нагрузки. Поэтому можно обоснованно считать, что показатель L оценивает меру накопления напряжений и эволюцию деформированного состояния в образцах известняка при ступенчато возрастающей квазистатической механической нагрузке, что говорит в пользу потенциальной применимости показателя L для контроля горного давления.

Облако полученных значений показателя L в функции от величин механических нагрузок P , при которых получены эти значения, показано на рис. 2.

На стадии I напряжений еще не достаточно для интенсификации структурных изменений, что выражается в низких значениях L . Далее, по мере возрастания нагрузок, на стадии II получают широкое развитие процессы образования микротрещин и линейного деформирования, что достаточно наглядно прослеживается по возрастанию величин L . Последующее падение последних до уровня стадии I является идентификационным признаком исчерпания в геоматериале запаса стабильных структурных связей, служащих источниками импульсов ТАЭ, и, соответственно, отсутствием возможности для дальней-

шего прироста деформаций. Также резкое снижение значения L на стадии III может быть отчасти связано с известным эффектом акустического затишья предельно напряженного геоматериала перед его мгновенным лавинообразным разрушением (кускованием) [7].

Относительно малое число точек на стадии III вызвано технической сложностью выставить на образце такую нагрузку, чтобы процесс разветвления и слияния макротрещин начался, но не привел к развалу пробы до конца акустико-эмиссионного измерения продолжительностью около 1,5–2,0 ч.

Предложенный показатель позволяет достаточно надежно судить об эволюции напряженно-деформированного состояния горных пород в случае долговременного мониторингового контроля. Однако данный показатель ограниченно применим для решения обратной задачи при разовых измерениях ввиду пересечения интервалов значений на стадиях I и III. Для устранения данной неопределенности предложен показатель K , который записывается следующим образом:

$$K = \frac{(E_{sour}^B * IRT^B) / (E_{sour}^A * IRT^A)}{\dot{N}_{\Sigma}^A * D_{imp}^A / \dot{N}_{\Sigma}^B * D_{imp}^B}$$

$E_{sour}^A, IRT^A, E_{sour}^B, IRT^B, \dot{N}_{\Sigma}^A, D_{imp}^A, \dot{N}_{\Sigma}^B, D_{imp}^B$ — значения $E_{sour}, IRT, \dot{N}_{\Sigma}, D_{imp}$, усредненные по времени областей А и Б соответственно; \dot{N}_{Σ} — активность акустической эмиссии; D_{imp} — длительность импульса акустической эмиссии.

Физический смысл параметра \dot{N}_{Σ} , указывающего на число зарегистрированных событий за единицу времени, заключается в мере количества структурных связей, испускавших сигналы ТАЭ. Причем под термином «сигнал ТАЭ» сле-

дует понимать упругую волну, создаваемую в результате реакции горной породы на действующие в ней термомеханические напряжения, что описывается различного рода параметрами акустической эмиссии, которые фиксируются системой A-line 32D. В свою очередь, параметр D_{Σ} характеризует среднюю продолжительность сигнала ТАЭ. При прочих равных условиях, более прочные связи способны излучать сигнал пропорционально более длительный. Поэтому величина D_{Σ} позволяет в общем потоке сигналов ТАЭ вычлнить те из них, которые относятся к прочным структурным связям. Очевидно, что последние в гораздо большей степени определяют прочностные свойства горной породы, и информация о их деструкции наиболее важна для оценки остаточной прочности геоматериала.

Показатель K (рис. 3) также служит мерой степени развития напряженно-деформированного состояния геоматериала. Однако за счет учета дополнительных параметров ТАЭ он более чувствителен к выработке запаса прочных структурных связей, определяющих остаточную прочность горной породы к действию напряжений.

На рис. 3 выполнена группировка значений функции $K(L)$, позволяющая расклассифицировать, к какой стадии развития напряженно-деформированного состояния горной породы принадлежит та или иная точка. При этом обозначения и физический смысл каждой из указанных стадий, совпадает с приведенным в описательной части к рис. 2. Границы стадий на рис. 3 установлены таким образом, чтобы в них входили те же точки, которые содержатся в границах одноименных стадий на рис. 2. Однако на рис. 3 характер зависимости ближе к линейному, что значительно упрощает ее применение для решения задач геоконтроля.

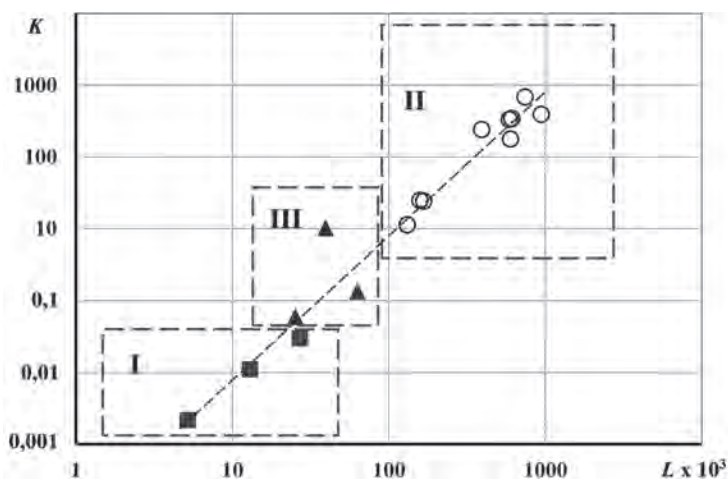


Рис. 3. Экспериментально установленное распределение значений акустико-эмиссионного показателя $K(L)$

Fig. 3. Experimental pattern of acoustic emission indicator $K(L)$

Также к положительным качествам акустико-эмиссионного показателя $K(L)$ следует отнести возможность его применения, располагая только акустико-эмиссионными измерениями. Другими словами, предварительное установление эталонных значений показателя $K(L)$ в лабораторных условиях с привязкой к результатам испытаний соответствующих кернов на физико-механические и деформационные свойства, хотя и позволяет уточнить получаемые оценки, но не является обязательным. На качественном уровне показатель $K(L)$ принципиально является самодостаточным для определения состояния горной породы и предварительного экспресс-прогноза опасности ее разрушения.

Заключение

Представлены и теоретически обоснованы экспериментальные зависимости между параметрами термостимулированной акустической эмиссии в образцах известняка и эволюцией их напряженно-деформированного состояния под действием ступенчато возрастающей квазистатической механической нагрузки. Подтверждена возможность

практического использования локальных циклических термических воздействий для возбуждения в скальной горной породе информативного акустико-эмиссионного отклика. Это создает предпосылки для адаптации данного метода к работе в натуральных условиях, например, в форме каротажных термоакустоэмиссионных измерений.

Полученные закономерности позволяют обосновать новые акустико-эмиссионные показатели для численной оценки накопления напряжений в горной породе и эволюции ее остаточной прочности (устойчивости) при отсутствии количественной информации о действующих напряжениях. Показана принципиальная возможность применения данных показателей для выявления предвестника скорого разрушения объекта контроля.

Полученные результаты могут быть использованы как для разработки нового акустико-эмиссионного способа контроля за напряженно-деформированным состоянием горных пород, так и для решения прогнозных задач в области оценки опасности геодинамических явлений при ведении проходческих и добычных работ подземным способом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jaeger J., Cook N. G., Zimmerman R. *Fundamentals of Rock Mechanics*. L.: Wiley/Blackwell. 2007. 475 p.
2. Тюпин В. Н., Рубашкина Т. И. Взрывные методы определения напряженного состояния массивов горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2018. — № 4. — С. 44 — 50.
3. Baryakh A., Toksarov V., Asanov V., Pankov I., Udartsev A. Monitoring the stress-strain state of marginal saliferous rock mass // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 191. Pp. 925 — 934.
4. Bogusz A., Bukowska M. Stress-strain characteristics as a source of information on the destruction of rocks under the influence of load // *Journal of Sustainable Mining*. 2015. Vol. 14. No 1. Pp. 46 — 54.
5. Arash Kamali-Asl, Bijay K. C., Maziar Foroutan, Ehsan Ghazanfari, Cladouhos T. T., Stevens M. Stress-strain response and seismic signature analysis of phyllite reservoir rocks from Blue Mountain geothermal field // *Geothermics*. 2019. Vol. 77. Pp. 204 — 223.
6. Deepanshu Shirole, Gabriel Walton, Ahmadreza Hedayat Experimental investigation of multi-scale strain-field heterogeneity in rocks // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2020. Vol. 127. Article 104212.
7. Шкуратник В. Л., Новиков Е. А. Термостимулированная акустическая эмиссия горных пород как перспективный инструмент решения задач геоконтроля // *Горный журнал*. — 2017. — № 6. — С. 21 — 27.
8. Novikov E. A., Shkuratnik V. L., Oshkin R. O., Zaitsev M. G. Effect of the stress-strain state of sandy-clay soils on their thermally stimulated acoustic emission // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2017. Vol. 54. No 2. Pp. 81 — 86.
9. Новиков Е. А., Зайцев М. Г. Об использовании акустико-эмиссионного эффекта памяти для оценки структурной устойчивости мерзлых грунтов при их циклическом отогреве и механическом нагружении // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2020. — № 3. — С. 30–44. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-30-44.
10. Новиков Е. А., Шкуратник В. Л., Зайцев М. Г. Проявления акустической эмиссии в мерзлых грунтах при одновременном влиянии на них переменных механических и термических воздействий // *Записки Горного института*. — 2019. — Т. 238. — С. 383 — 391. DOI: 10.31897/PMI.2019.4.383.
11. Novikov E. A., Oshkin R. O., Shkuratnik V. L., Epshtein S. A., Dobryakova N. N. Application of thermally stimulated acoustic emission method to assess the thermal resistance and related properties of coals // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018. Vol. 28. No 2. Pp. 243 — 249.
12. Лавров А. В., Шкуратник В. Л. Акустическая эмиссия при деформировании и разрушении горных пород (обзор) // *Акустический журнал*. — 2005. — Т. 51. — № 5. — С. 6 — 18. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Jaeger J., Cook N. G., Zimmerman R. *Fundamentals of Rock Mechanics*. L.: Wiley/Blackwell. 2007. 475 p.
2. Tyupin V. N., Rubashkina T. I. Explosion methods of stress estimation in rock mass. *Fiziko-tekhicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2018, no 4, pp. 44 — 50. [In Russ].
3. Baryakh A., Toksarov V., Asanov V., Pankov I., Udartsev A. Monitoring the stress-strain state of marginal saliferous rock mass. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 191. Pp. 925 — 934.
4. Bogusz A., Bukowska M. Stress-strain characteristics as a source of information on the destruction of rocks under the influence of load. *Journal of Sustainable Mining*. 2015. Vol. 14. No 1. Pp. 46 — 54.

5. Arash Kamali-Asl, Bijay K. C., Maziar Foroutan, Ehsan Ghazanfari, Cladouhos T. T., Stevens M. Stress-strain response and seismic signature analysis of phyllite reservoir rocks from Blue Mountain geothermal field. *Geothermics*. 2019. Vol. 77. Pp. 204–223.

6. Deepanshu Shirole, Gabriel Walton, Ahmadreza Hedayat Experimental investigation of multi-scale strain-field heterogeneity in rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2020. Vol. 127. Article 104212.

7. Shkuratnik V. L., Novikov E. A. Thermally stimulated acoustic emission of rocks as a promising tool of geontrol. *Gornyi Zhurnal*. 2017, no 6, pp. 21–27. [In Russ].

8. Novikov E. A., Shkuratnik V. L., Oshkin R. O., Zaitsev M. G. Effect of the stress-strain state of sandy-clay soils on their thermally stimulated acoustic emission. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2017. Vol. 54. No 2. Pp. 81–86.

9. Novikov E. A., Zaytsev M. G. Using acoustic emission and memory effect in evaluation of structural stability of frozen soil under cyclic heating and mechanical loading. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no 3, pp. 30–44. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-30-44.

10. Novikov E. A., Shkuratnik V. L., Zaytsev M. G. Acoustic emission effects in frozen soil under simultaneous variable mechanical and thermal effects. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 238, pp. 383–391. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2019.4.383.

11. Novikov E. A., Oshkin R. O., Shkuratnik V. L., Epshtein S. A., Dobryakova N. N. Application of thermally stimulated acoustic emission method to assess the thermal resistance and related properties of coals. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018. Vol. 28. No 2. Pp. 243–249.

12. Lavrov A. V., Shkuratnik V. L. Acoustic emission in deformation and fracture of rocks: Overview. *Akusticheskiy zhurnal*. 2005, vol. 51, no 5, pp. 6–18. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ошкин Роман — аспирант, НИТУ «МИСиС», e-mail: oshkin93@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Roman Oshkin, Graduate Student, e-mail: oshkin93@mail.ru,
National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

Получена редакцией 06.07.2020; получена после рецензии 30.07.2020; принята к печати 10.10.2020.
Received by the editors 06.07.2020; received after the review 30.07.2020; accepted for printing 10.10.2020.



ОТ РЕДАКЦИИ

В Горном информационно-аналитическом бюллетене № 10, 2020 в статье авторов Элбендари А. М., Александровой Т. Н., Николаевой Н. В. «Оптимизация реагентного режима при обогащении апатит-нефелиновых руд» на с. 123, 124 допущены технические ошибки:

№ стр.	Опубликовано	Должно быть
123	Благодарность: Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по ЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014–2020 гг.», проект № 05.616.21.0127 (RFMEFI61620X0127).	Благодарность: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 19-17-00096).
124	Acknowledgements: The study was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, in the framework of Federal Targeted Program on R&D in Priority Areas of Advancement in the Science and Technology of Russia for 2014–2020, Project No. 05.616.21.0127, Registration Number RFMEFI61620X0127.	Acknowledgements: The study was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 19-17-00096.